

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Optimalizace kefalometrické analýzy
Optimization of Cephalometric Analysis**

2019

Veronika Dziedzicová

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Veronika Dziedzicová**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik

Téma: **Optimalizace kefalometrické analýzy**
Optimization of Cephalometric Analysis

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vyvinout jednoduché uživatelské rozhraní, které umožní načtení telorentgenových snímků lebky s následnou semiautomatizovanou analýzou vybraných geometrických parametrů dle požadavků ortodontické praxe. Technika laterální kefalometrické radiografie je široce používanou popisnou, analytickou a diagnostickou metodou v klinické ortodoncii a protetice. Metoda se neustále dynamicky vyvíjí a vzhledem k její rozsáhlosti a velkému počtu analýz je stran ortodontistů požadována analýza, která se zaměří pouze na vybrané geometrické parametry. Takto optimalizovaná analýza si klade za cíl zrychlení plánování ortodontické léčby.

1. Literární rešerše dostupných kefalometrických analýz se zaměřením na nejznámější a svým přínosem nejdůležitější.
2. Teoretický rozbor: topografická anatomie; biologická interpretace analýzy kefalometrického snímku; limity možností kefalometrických analýz; metody longitudinálního kefalometrického vyhodnocení; limity růstové analýzy.
3. Návrh a realizace uživatelského rozhraní pro kefalometrickou analýzu.
4. Návrh, realizace a implementace algoritmační struktury analytických funkcí pro kefalometrickou analýzu.
5. Testování geometrických parametrů na telorentgenových snímcích.
6. Testování statistických a analytických funkcí na telorentgenových snímcích.
7. Závěr a zhodnocení přínosnosti pro konkrétní ortodontickou praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] WEBER, Thomas. *Memorix zubního lékařství*. 2. české vyd. Přeložil Magdalena KOŤOVÁ. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-8024735191.
- [2] KAMÍNEK, Milan. *Ortodoncie*. Praha: Galén, c2014. Zubní lékařství. ISBN 978-8074921124.
- [3] BASAVARAJ, Subhashchandra Phulari. *An atlas on cephalometric landmarks*. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers, 2013. ISBN 978-9350903247.
- [4] JACOBSON, Alexander a Richard L. JACOBSON.(eds.) *Radiographic cephalometry: from basics to 3-D*. 2. ed. Chicago: Quintessence Pub, 2006. ISBN 978-0867154610.
- [5] SINGH, Inderbir. *Human osteology for dental students*. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P), 2012. ISBN 978-9350255988.
- [6] ZHANG, Yujin. *Image Analysis: De Gruyter Textbook*. Beijing, China: Tsinghua University Press.

Walter de Gruyter GmbH & Co, 2017. ISBN 978-3110520330.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iveta Bryjová**

Konzultant bakalářské práce: MDDr. Hana Borunská
Ing. Jan Kubíček, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci, včetně příloh, vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny zdroje, literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

Dne 30. dubna 2019

Veronika Dziedzicová

Veronika Dziedzicová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí této práce Ing. Ivetě Bryjové, za všechny cenné a odborné rady a za čas, který mi věnovala při zpracování této práce. Poděkování patří také konzultantce MDDr. Haně Borunské za poskytnutí informací z oblastí ortodoncie a stomatologie.

Dále bych chtěla poděkovat mým rodičům, bratrovi a příteli za pochopení, trpělivost a podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvořit aplikaci pro optimalizovanou kefalometrickou analýzu dle vybraných geometrických parametrů zadaných ortodontisty. Klíčovými prvky této práce je zjištění potřebných geometrických parametrů, návrh a implementace analytické matematiky dle zjištěného a následné vytvoření jednoduchého uživatelského rozhraní. Software má umožnit uživateli načtení telerentgenových (dRTG) snímků lebky s následnou semiautomatizovanou analýzou důležitých kefalometrických bodů, které byly z hlediska ortodontického plánování léčby stanoveny jako klíčové. Vytvořená aplikace byla testována na vybraných kefalometrických snímcích na ortodontickém pracovišti.

Výstupem bakalářské práce je programová aplikace, která umožní uživateli provést kefalometrickou analýzu vybraných parametrů na dRTG snímku, uložit výsledky a následně porovnat získaná data v rámci zhodnocení přínosnosti léčby. Programové řešení umožní uživateli analyzovat pacientův snímek před léčbou, uložit tyto analyzované kefalometrické parametry, následně načíst nový snímek po léčbě a předešlá data původního snímku nahrát do nového snímku. Znovunačtení má ukázat uživateli, kde se původní kefalometrické body nacházely.

Klíčová slova

Kefalometrická analýza, Euklidovská vzdálenost, Matlab, Software, Analytická matematika

Abstract

The aim of this thesis is to create an application for accelerated practice. The key elements of this work are significant geometric parameters, draft and implementing analytical mathematical system using a simple interface. The software is intended to allow the user to read cephalometric images that are related to subsequent planning information. The application was tested on selected cephalometric data at an orthodontic workplace.

The output of the bachelor thesis is an application that enables the user to perform cephalometric analysis of selected geometrical parameters on a cephalometric X-ray image, save the results and then compare the obtained data as part of the evaluation of the benefit of treatment. Thus, the software will allow the user to analyse the patient's image prior to treatment, store these analysed cephalometric parameters, then load a new post-treatment image and upload the previous data from the original image to a new one. Refreshing should show the user where the original cephalometric points were located.

Key words

Cephalometric analysis, Euclidean distance, Matlab, Software, Analytical mathematics

Obsah

Seznam zkratk.....	- 10 -
Seznam ilustrací	- 11 -
Seznam tabulek.....	- 13 -
Seznam rovnic	- 13 -
Úvod	- 14 -
1 Literární rešerše.....	- 15 -
1.1 Přesnost lineárních měření použitím různých zobrazovacích metod	- 15 -
1.2 Srovnání dvou počítačových softwarů pro 3D kefalometrickou analýzu.....	- 19 -
1.3 Srovnání populárních sagitálních kefalometrických analýz pro jejich platnost a spolehlivost	- 22 -
1.4 Ceph-X vývoj a hodnocení kefalometrického systému.....	- 26 -
1.5 Kefalometrické normy pro β úhel a MMBP-Wits	- 32 -
2 Stomatologie.....	- 35 -
2.1 Znaky fyziologické okluze	- 35 -
3 Ortodontie.....	- 37 -
3.1 Ortodontické anomálie	- 37 -
4 Ortodontická dokumentace pacienta	- 40 -
4.1 Digitální rentgen.....	- 40 -
4.2 Ochrana před zářením	- 42 -
4.3 Ortopantomografie	- 43 -
4.4 Kefalometrie.....	- 44 -
4.5 Rentgenový snímek pravé ruky a zápěstí	- 49 -
4.6 Fotografická dokumentace	- 50 -
5 Praktická část.....	- 51 -
5.1 Lokace konkrétních kefalometrických bodů, linií a úhlů.....	- 51 -
6 Implementace analytické geometrie.....	- 54 -
6.1 Měření vzdálenosti dvou bodů	- 54 -
6.2 Výpočet úhlů SNA, ANB.....	- 55 -
6.3 Výpočet úhlu NSML	- 57 -
6.4 Vývojový diagram aplikace.....	- 58 -

7	Návrh uživatelského rozhraní.....	- 59 -
7.1	Prvotní spuštění.....	- 59 -
7.2	Tabulka s kefalometrickými daty.....	- 60 -
7.3	Základní části aplikace a jejich popis.....	- 61 -
8	Testování navrženého systému.....	- 71 -
8.1	Komparace manuální a programové kefalometrické analýzy.....	- 71 -
8.2	Statistické vyhodnocení.....	- 79 -
8.3	Korelace manuální a programové kefalometrické analýzy.....	- 81 -
	Závěr.....	- 83 -
	Použitá literatura.....	- 84 -
	Seznam příloh.....	- 87 -

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
dRTG	Dálkový snímek (lebky)
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
OPG	Ortopantomogram, přehledný panoramatický rentgenový snímek zachycující dentici, obě čelisti, temporomandibulární klouby
SUS	System Usability Scale
mm	milimetr
cm	centimer

Seznam ilustrací

Obrázek 1.1 Ukázka modelů lebky	- 16 -
Obrázek 1.2 Písmeno L umístěno na snímcích	- 16 -
Obrázek 1.3 Modul 3D Ceph	- 19 -
Obrázek 1.4 Invivo Dental5.0	- 20 -
Obrázek 1.5 Kefalometrické úhly.....	- 23 -
Obrázek 1.6 Použité kefalometrické body.....	- 26 -
Obrázek 1.7 Manuální analýza	- 27 -
Obrázek 1.8 Model lokace kefalometrických bodů.....	- 28 -
Obrázek 1.9 Model lineárního měření.....	- 29 -
Obrázek 1.10 Kefalometrické linie, úhly, vzdálenosti	- 33 -
Obrázek 2.1 Šest klíčů normální okluze, 1. Vztah molárů, 2. Angulace korunek, 3. Vestibuloorální inklinace korunek, 4. Žádná rotace zubů, 5. Žádné mezery v zubních obloucích, 6. Speeova křivka	- 36 -
Obrázek 3.1 Distookluze - horní snímek, meziokluze - dolní snímek	- 38 -
Obrázek 3.2 Normookluze	- 38 -
Obrázek 3.3 Skeletální třídy	- 39 -
Obrázek 4.1 Základní princip rtg zobrazení, vlevo rentgenka, uprostřed pacient, vpravo film nebo stínítko	- 41 -
Obrázek 4.2 Princip OPG	- 43 -
Obrázek 4.3 OPG	- 43 -
Obrázek 4.4 Boční kefalometrický rtg snímek	- 44 -
Obrázek 4.5 Princip techniky kefalometrického rtg snímku	- 45 -
Obrázek 4.6 Umístění kefalometrických bodů na lebce.....	- 47 -
Obrázek 4.7 WITS.....	- 48 -
Obrázek 4.8 Přední výška a zadní výška obličejového skeletu	- 48 -
Obrázek 4.9 Poloha řezáků.....	- 49 -
Obrázek 4.10 Rentgenogram ruky v období puberty	- 50 -
Obrázek 5.1 Úhly použité v aplikaci	- 52 -
Obrázek 5.2 Linie NS, ML – vzdálenost v aplikaci	- 52 -
Obrázek 5.3 Wits analýza.....	- 53 -
Obrázek 6.1 Euklidovská vzdálenost mezi dvěma body	- 54 -
Obrázek 6.2 Úhel SNA, ANB na snímku.....	- 56 -
Obrázek 6.3 Úhel NSML.....	- 57 -
Obrázek 6.4 Vývojový diagram aplikace	- 58 -
Obrázek 7.1 Návrh uživatelského rozhraní Optimization of Cephalometric analysis.....	- 59 -
Obrázek 7.2 Tabulka s kefalometrickými daty.....	- 60 -
Obrázek 7.3 Načtení snímku, Volba Load image.....	- 61 -
Obrázek 7.4 Volba formátu snímku	- 61 -
Obrázek 7.5 Načtený rtg snímek	- 62 -
Obrázek 7.6 Doplnující prvky	- 62 -
Obrázek 7.7 Volba extrakce měřítka	- 63 -
Obrázek 7.8 Funkce lupy.....	- 63 -

Obrázek 7.9 Pravitko na snímku	- 63 -
Obrázek 7.10 Měřítko 10 mm	- 64 -
Obrázek 7.11 Extrakce bodů	- 65 -
Obrázek 7.12 Extrakce okluzní roviny.....	- 66 -
Obrázek 7.13 Extrakce bodů a okluzní roviny	- 66 -
Obrázek 7.14 Exportovaný PNG snímek	- 67 -
Obrázek 7.15 Exportovaný soubor .xlsx	- 68 -
Obrázek 7.16 Volba Load points, nahrání bodů.....	- 69 -
Obrázek 7.17 Nové hodnoty na novém snímku, přepis původních.....	- 70 -
Obrázek 8.1 F26 Snímek z aplikace	- 72 -
Obrázek 8.2 F27 Snímek z aplikace	- 73 -
Obrázek 8.3 F28 Snímek z aplikace	- 74 -
Obrázek 8.4 F29 Snímek z aplikace	- 75 -
Obrázek 8.5 M04 Snímek z aplikace.....	- 76 -
Obrázek 8.6 M06 Snímek z aplikace.....	- 77 -
Obrázek 8.7 M07 Snímek z aplikace.....	- 78 -
Obrázek 8.8 Graf manuální analýzy	- 80 -
Obrázek 8.9 Graf softwarové analýzy	- 81 -

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 Kefalometrické body ve studii	- 17 -
Tabulka 1.2 Souhrnné výsledky měření	- 17 -
Tabulka 1.3 Hodnoty korelace pro zkoušku spolehlivosti	- 20 -
Tabulka 1.4 Rozdělení pacientů dle pohlaví	- 24 -
Tabulka 1.5 Počet jednotlivých pacientů skeletálních tříd dle analýzy a korelace.....	- 24 -
Tabulka 1.6 Střední hodnoty parametrů	- 24 -
Tabulka 1.7 Kefalometrické parametry použité ve studii.....	- 29 -
Tabulka 1.8 Výsledky srovnání.....	- 31 -
Tabulka 1.9 Popis statistiky pro každý analyzovaný parametr	- 33 -
Tabulka 1.10 Výsledky normy	- 34 -
Tabulka 4.1 Nejpoužívanější kefalometrické body, linie a úhly	- 46 -
Tabulka 5.1 Kefalometrické parametry v aplikaci	- 51 -
Tabulka 8.1 F26 Srovnání analýz.....	- 72 -
Tabulka 8.2 F27 Srovnání analýz.....	- 73 -
Tabulka 8.3 F28 Srovnání analýz.....	- 74 -
Tabulka 8.4 F29 Srovnání analýz.....	- 75 -
Tabulka 8.5 M04 Srovnání analýz.....	- 76 -
Tabulka 8.6 M06 Srovnání analýz.....	- 77 -
Tabulka 8.7 M07 Srovnání analýz.....	- 78 -
Tabulka 8.8 Souhrnná statistická vyhodnocení.....	- 79 -

Seznam rovnic

Rovnice 1 Dalbergův vzorec	- 22 -
Rovnice 2 Euklidovská vzdálenost ve studii	- 30 -
Rovnice 3 Úhel mezi liniemi.....	- 30 -
Rovnice 4 Nalezení změn.....	- 30 -
Rovnice 5 Přepočet radiánů na stupně.....	- 30 -
Rovnice 6 Euklidovská vzdálenost.....	- 54 -
Rovnice 7 Kosinova věta, úhel α	- 55 -
Rovnice 8 Kosinova věta, úhel γ	- 55 -
Rovnice 9 Pythagorova věta.....	- 57 -
Rovnice 10 Úhel nenulových vektorů	- 57 -

Úvod

Kefalometrická analýza je v dnešní době široce používanou popisnou, analytickou a diagnostickou metodou sloužící v ortodoncii lékařům při stanovení způsobu léčby a ke stanovení normálu a odchylek. Jelikož existuje mnoho druhů kefalometrických analýz ani jedna nebyla stanovena doposud jako univerzální či nejdůležitější. Ze stran konkrétních ortodontistů je vyžadován software, jež se zaměří na vybrané geometrické parametry, a tedy zhotoví pro ně důležitou a rychlejší kefalometrickou analýzu dálkové bočního snímku lebky (dRTG).

Teoretická část bakalářské práce je složena z rešeršní práce, která obsahuje několik článků pojednávající o tvorbě kefalometrických softwarů, dostupných kefalometrických analýz a následně jejich srovnání a přínosnost pro praxi. Teoretická část obsahuje také stručný úvod do stomatologie a ortodontie, kdy do ortodontie je zařazena kefalometrie. Kefalometrie je v dnešní době zařazena do standardní ortodontické dokumentace pacienta. Pro zhotovení kefalometrického snímku je zapotřebí speciální rentgenový přístroj s přídatným kefalometrickým ramenem. Kefalometrickým rentgenovým snímkem nazýváme ten snímek, na kterém může ortodontista po jeho správném zhotovení indikovat léčbu a správně zhotovit plán. Z tohoto snímku lze zjistit polohu a vztah čelistí a pak také zjistit tyto vztahy vzhledem k měkkým tkáním obličeje. Slouží nejen k již zmíněnému sestavení plánu léčby, ale také k předpovědi typu růstu a následné kontroly růstu obličejového skeletu

Praktická část mé práce je zaměřena na téma analytické geometrie, jejíž prvky byly implementovány do syntaxe MATLABu. Dále obsahuje seznam všech důležitých kefalometrických bodů, linií a úhlů, které byly ze stran ortodontie vyžadovány. Dle toho byl vytvořen software *Optimization of Cephalometric analysis* pro tvorbu kefalometrické analýzy na dálkovém bočním snímku lebky. Cílem bakalářské práce bylo vytvoření jednoduchého uživatelského rozhraní pro tvorbu kefalometrické analýzy. Pro mou práci bylo vybráno 37 náhodných pacientů, jimž byl zhotoven kefalometrický rentgenový snímek. Na těchto datech byla aplikace testována. Dále bylo z této skupiny snímků vybráno 7 náhodných snímků, které byly porovnány ve vztahu ruční analýzy vzhledem k softwarové aplikaci. Cílem bylo porovnat časovou náročnost, přesnost a přehlednost aplikace vzhledem k ručnímu vyhodnocení kefalometrického snímku. Aplikace pro tvorbu kefalometrické analýzy mimo tvorby analýzy obsahuje také volbu, která uživateli umožní porovnání snímků pacienta před léčbou a po léčbě. K tomuto slouží jedno tlačítko s názvem *load points*, které umožní znovunačtení již uložených starších kefalometrických dat do nové snímku pro porovnání stavu kefalometrických hodnot po léčbě. Téma subtrakce a porovnání snímků před a po léčbě jsem v této práci pouze započala, chtěla bych se nadále věnovat této problematice při tvorbě diplomové práce, kdy aplikaci dále rozšířím.

1 Literární rešerše

1.1 Přesnost lineárních měření použitím různých zobrazovacích metod [12]

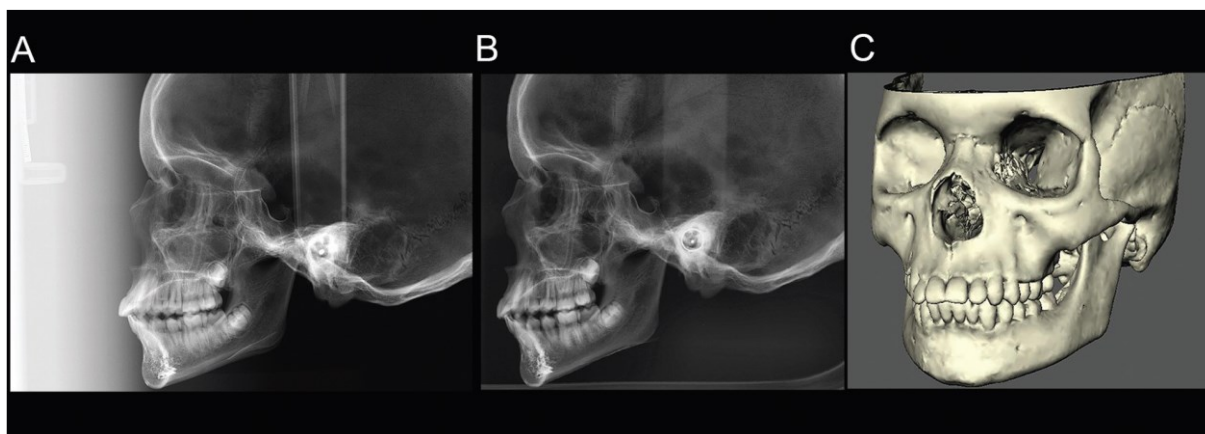
Kefalometrická radiodiagnostická metoda je používána jako standardní postup při plánování ortodontické léčby. Tato metoda je běžně vykonávána na 2D RTG přístroji, který bohužel nezobrazuje plné rozměry lidské tváře. Tento typ stroje umožňuje vyzařovat více paralelních rentgenových paprsků, což vede k menšímu zvětšení obrazu a také k menšímu radiačnímu zatížení pacienta. V posledních letech byly zobrazovány více 3D zobrazovací modalities, zejména kuželový paprsek počítačové tomografie (CBCT). V ortodoncii 3D snímky překonaly překážku 2D snímků tím, že umožnily ortodontistům vizualizovat kraniofaciální struktury bez překrytí a zkreslení. Cílem této studie bylo zhodnotit přesnost lineárních měření pomocí různých zobrazovacích modalit.

Pro tuto studii bylo použito celkem 21 lidských lebek se současným horním a dolním počtem řezáků a první moláry byly shromážděny z Katedry anatomie Hasseltovy univerzity z Belgie. I když lidské lebky nepředstavovaly skutečný klinický stav pacienta, byly pro tuto studii použity. Hlavním důvodem byl etický kodex. Pro napodobení měkké tkáně byl použit měděný filtr o tloušťce 1,7 mm, který zajistil útlum při pořizování snímků. Výhodou lebek bylo přímé měření na tvrdé tkáni.

Snímky všech lebek byly zhotoveny za pomoci těchto tří různých cefalometrických rentgenových přístrojů:

- kefalometrický RTG přístroj (vzdálenost mezi ohniskem lampy a hlavou pacienta byla 3 metry) s kombinovanou trubící DX104 (COMET, 3175 Flamatt, Švýcarsko, 70 kVp, 32–40 mA), jako obrazový receptor zde byla použita zobrazovací deska z fosforu o rozměrech 24 × 30 cm
- boční kefalometrický přístroj, (vzdálenost mezi ohniskem lampy a hlavou pacienta byla 1,5 metrů) vybaven doplňkovým polovodičem z oxidu kovu
- CBCT (3D Accuitomo, 170J, Morita, Kyoto, Japonsko) s největší zorným polem

Do této studie bylo zahrnuto celkem 13 kefalometrických bodů (Nasion, anterior Nasal spine, Bod A, Bod B, Menton, Posterior nasal spine, Basion, Sigmoid notch, Gonion, Condylion) – popsány v tabulce 1.1. Dále byl ve studii byl použit 1,7 mm měděný filtr, který byl připojen k zařízení, aby simulovat útlum měkké tkáně. Snímky z 2D kefalogramů byly uloženy ve formátu TIFF. Poté byly importovány do Photoshopu a porovnány dvěma radiology. CBCT data byla exportována k digitálnímu zobrazení. Pro všechny vzorky byly vytvořeny 3D povrchové modely. Na každý snímek bylo umístěno písmeno „L“ v blízkosti úhlu dolní čelisti pro označení levé strany (Obrázek 1.1). Ve studii byla hodnota zlatý standard, která byla naměřena pomocí digitálního třmenu pro všechny kefalometrické body.

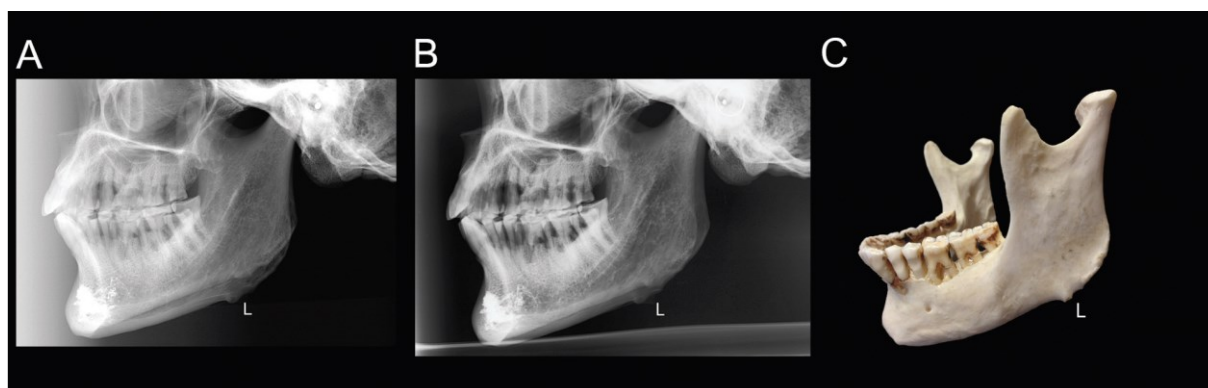


Obrázek 1.1: Ukázka modelů lebky

Modalities byly porovnány se zlatým standardem, který byl naměřen pomocí digitálního třmenu pro všechny kefalometrické body. Všechna tato data byla následně porovnána.

Obrázek 1.2 zobrazuje snímky ze všech použitých rentgenových přístrojů.

1. kefalometrický RTG přístroj (vzdálenost mezi ohniskem lampy a hlavou pacienta byla 3 metry)
2. boční kefalometrický přístroj, (vzdálenost mezi ohniskem lampy a hlavou pacienta byla 1,5 metrů)
3. 3D CBCT



Obrázek 1.2 Písmeno L umístěno na snímcích

Tabulka 1.1 Kefalometrické body ve studii

Nasion	N
Anterior nasal spine	ANS
Point A	A
Point B	B
Menton	Me
Posterior nasal spine	PNS
Basion	Ba
Sigmoid notch	SmN
Gonion	Go

Tabulka 1.2 Souhrnné výsledky měření

Measurements	Gold standard				3 m SMD group				1.5 m SMD group				3D group			
	Ave	SD	Min	Max	Ave	SD	Min	Max	Ave	SD	Min	Max	Ave	SD	Min	Max
N-ANS	44.95	3.66	37.70	50.94	43.99	3.55	36.45	51.13	44.48	3.59	36.75	52.09	45.42	3.66	37.40	52.30
N-A	50.15	4.51	41.53	58.10	48.10	3.70	40.28	56.74	48.97	3.84	40.44	55.82	49.98	4.02	41.90	57.30
N-B	86.78	7.95	70.49	99.55	83.74	7.12	68.38	97.20	85.06	7.55	69.77	99.24	85.35	7.70	69.30	100.00
N-Me	103.97	10.32	86.08	122.47	102.39	9.80	84.14	121.29	103.49	10.05	84.90	122.65	104.43	9.94	85.70	122.60
ANS-Me	60.74	7.64	47.91	73.66	60.00	7.35	46.04	73.98	60.81	7.60	47.18	74.61	60.46	7.48	47.00	74.70
ANS-PNS	48.07	2.68	43.57	53.85	44.98	2.89	39.88	53.56	47.12	2.89	41.74	53.03	47.28	2.85	41.70	53.30
Ba-PNS	40.73	3.46	34.73	47.42	42.02	6.02	34.79	73.53	41.93	3.73	34.32	52.04	41.08	3.41	35.20	47.90
SmN-Go right	38.13	5.31	27.92	47.31	36.66	6.25	25.03	67.02	36.56	5.02	26.28	47.08	37.89	5.14	27.20	47.60
SmN-Go left	38.81	5.20	28.25	48.83	37.51	6.09	24.85	67.02	38.96	5.93	27.85	61.24	37.70	4.94	27.60	47.70
Go-Co right	51.54	6.00	37.86	59.44	48.12	6.10	36.74	59.60	49.45	5.81	36.65	61.04	50.56	6.01	35.10	60.50
Go-Co left	52.52	6.65	38.69	64.37	49.12	5.94	36.74	62.89	51.51	6.67	37.34	66.47	50.16	6.31	33.90	61.70
Go-Me right	77.71	6.43	64.52	88.83	62.80*	5.61	49.65	75.97	64.17*	5.86	52.84	75.92	77.86	6.94	62.80	92.20
Go-Me left	76.70	6.43	63.42	88.82	61.89*	5.43	49.89	75.18	63.56*	6.19	49.66	75.95	77.86	7.10	62.80	95.70

Pro hodnocení přesnosti bylo zjištěno, že přesnost měření na 3M SMD kefalogramu byla nižší než u ostatních dvou skupin při šesti měřeních, která prokazovala statisticky významné rozdíly v porovnání se zlatým standardem (Tabulka 1.1). Nebyla nalezena žádná anglická publikace, která přímo porovnává výsledky této studie, ale v několika publikacích bylo zjištěno, že přesnost 3D měření byla lepší než měření na laterálních kefalogramech. Souhrnnou statistiku (Tabulka 1.2) zobrazující výsledky kefalometrických měření (v mm) tří radiografických modalit. Sloupec zlatý standard obsahuje hodnoty kefalometrických parametrů, jež byly naměřeny pomocí digitálního posuvného měřítka a považovány jako výchozí. Největší odchylka byla zjištěna pro parametr Go-Me. V tabulce označena tato odchylka graficky hvězdičkou. Charakterizuje odchylku od zlatého standardu o 5 mm.

Závěr

Tato studie potvrdila přesnost lineárních kefalometrických měření 2D a 3D snímků. Ačkoliv výsledky neprokázaly, že 3D měření je přesnější, výsledky potvrdily, že 3D měření je spolehlivější než měření na 2D snímcích. 3D obrazová data poskytují realistický pohled, čímž se výrazně liší od 2D projekce. To je také jedna z hlavních výhod 3D v oblasti kefalometrie. 2D snímky bývají dostačující pro obecnou orientaci. Pokud je však třeba některé struktury vyšetřit podrobněji, může být absence třetího rozměru z diagnostického hlediska zásadní. 2D kefalogram nezobrazuje plné rozměry lidské tváře a geometricky zkresluje a překrývá anatomické struktury. 3D snímky umožňují ortodontistům vizualizovat kraniofaciální struktury bez překrytí a zkreslení. Přesnost měření na CBCT 1,5 m SMD kefalogramu bylo přesnější než 3M SMD kefalogram. Toto zjištění dokázalo přesnost

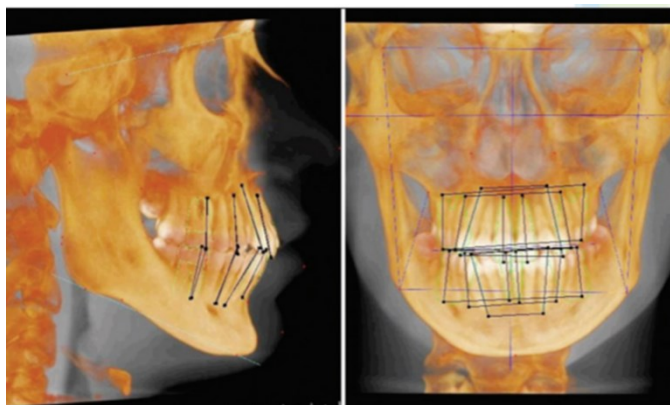
lineárních měření a spolehlivost 3D měření, které jsou založeny na datech z CBCT v porovnání s 2D technikou. Budoucí studie by se měly zaměřit na využití 3D kefalometrie v klinické praxi.

1.2 Srovnání dvou počítačových softwarů pro 3D kefalometrickou analýzu [13]

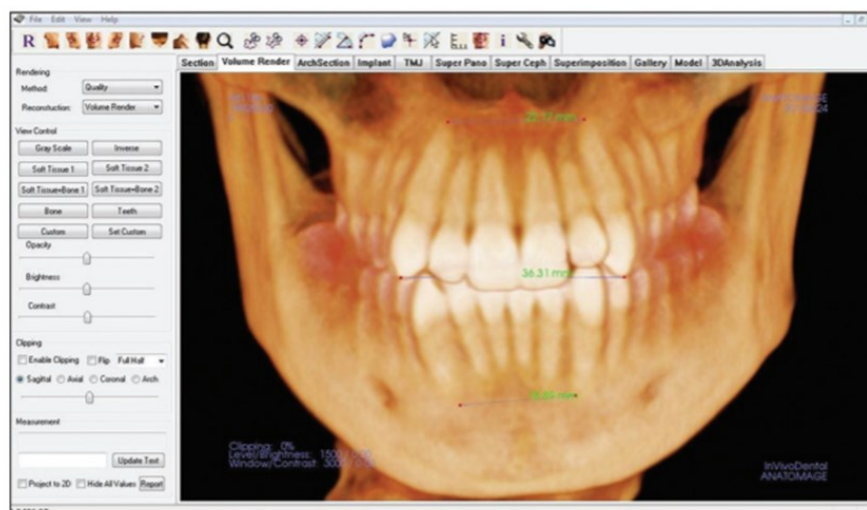
3D kefalometrická analýza je stále více v ortodoncii využívána. Cílem této studie bylo porovnat dva softwary pro vyhodnocení této analýzy, která slouží k výsledkům ortodontické léčby. Použití trojrozměrného zobrazení, a to zejména kuželového paprsku výpočetní tomografie (CBCT) se stává stále více důležitým prvkem v tomto oboru. Trojrozměrné zobrazování má mnoho výhod, ale to již z předchozích článků víme. S rostoucím využitím 3D měření v ortodoncii byly zavedeny různé softwarové programy, jako je např. Anatomage Invivo Dental 5.0 (Anatomage Inc.) a 3D Ceph. Tyto softwary jsou schopny přesně vyhodnotit 3D měření. 3D Ceph je aplikace, která generuje trojrozměrné drátěné rámy pro trojrozměrnou analýzu. Cílem této studie bylo porovnat tyto dva zmiňované programy.

Tato studie byla schválena Health Research Ethics Board, University od Alberta. Do této studie bylo zahrnuto 5 mužů a 5 žen, kteří podstoupili ortodontickou léčbu. Byly použity jejich snímky před a po ortodontické léčbě. K dispozici bylo 20 snímků CBCT. Věk pacientů se pohyboval v rozmezí od 12 do 23 let. Všech 20 snímků bylo importováno pro použití do námi dvou vybraných softwarů. Původně získané snímky byly vytvořené pomocí modulu Super Ceph, anatomického softwaru. Boční, zadní a přední snímky byly uloženy ve formátu *.jpg. Tyto soubory byly poté otevřeny v aplikaci Adobe Photoshop Elements 5.0. Všechny snímky byly následně oříznuty, aby disponovaly stejnou velikostí. Snímky byly uloženy jako bitmapové soubory pro následné převedení do našeho zkoumaného softwaru 3D Ceph. Bitmapové digitální snímky pak byly nahrány i do softwaru Invivo Dental 5.0.

V této studii, s ohledem na spolehlivost a reprodukovatelnost, výsledky použití těchto programů ukázaly, že InvivoDental5.0 byl pro jednoho zkušeného pracovníka spolehlivější. Trojrozměrná měření identifikovaných orientačních bodů na CBCT snímků s programem InvivoDental 5.0 bylo lepší než 3DCeph. To mohlo být způsobeno zoomem a funkcí zvětšení v aplikaci Volume. Volume Render zapříčinil minimální množství kroků k tomu, aby v tomto případě bylo možné vytvořit trojrozměrné měření. To umožňuje přesnou identifikaci kefalometrie a méně příležitostí pro zavádění chyb v analýze. Program 3D Ceph neumožnil zvětšení kefalometrických snímků být při tvorbě trojrozměrného drátového rámu, což vedlo ke snížení přesnosti identifikace orientačních kefalometrických bodů.



Obrázek 1.3 Modul 3D Ceph



Obrázek 1.4 *Invivo Dental5.0*

V tabulce 1.3 je uveden koeficient pro interní zkoušku spolehlivosti, který byl velký u obou programů. Invivo Dental 5.0 měl pro každou měřenou linii silnější korelaci v porovnání s 3D Ceph. Výsledkem této analýzy je, že program Invivo Dental 5.0 provede spolehlivější měření.

Tabulka 1.3 *Hodnoty korelace pro zkoušku spolehlivosti*

Line measured	Intra-examiner reliability		Inter-examiner reliability	
	3DCeph™	Invivo Dental5.0	3DCeph™	Invivo Dental5.0
Line 01 (UMR)	0.79	0.97	0.51	0.94
Line 02 (UMC)	0.78	0.98		
Line 03 (LMC)	0.74	0.96		
Line 04 (LMR)	0.82	0.98	0.63	0.93
Line 09 (UCR)	0.89	0.97	0.87	0.64
Line 10 (UCC)	0.85	0.97		
Line 11 (LCC)	0.76	0.90		
Line 12 (LCR)	0.92	0.96	0.75	0.83

UMR – Upper molar root; UMC – Upper molar crown; LMC – Lower molar crown;
 LMR – Lower molar root; UCR – Upper canine root; UCC – Upper canine crown;
 LCC – Lower canine crown; LCR – Lower canine root

Závěr

Závěr této studii jasně prokázal, že uživatelsky příjemnějším a pohodlnějším programem pro tvorbu 3D kefalometrické analýzy je Invivo Dental 5.0, což je patrné i z obrázků. Lékaři musí vzít také v úvahu určité příplatky za měření s CBCT. Systém 3D Ceph je méně spolehlivý a časově náročnější pro výpočet kefalometrické analýzy. Ačkoli se neprokázalo lepší využití programu pro tvorbu 3D

snímků kefalometrické analýzy, Invivo Dental 5.0 provede rychlejší kefalometrickou analýzu. Vzhledem k rostoucímu zájmu o snímky, které vytvoří realistický pohled, se jeví Invivo Dental 5.0 jako budoucí každodenně používaný program. Jedinou hlavním nevýhodou je otázka velké dávky radiačního záření.

1.3 Srovnání sagitálních kefalometrických analýz [14]

Tato studie se zabývá kefalometrickou analýzou vztahů čelistních kostí v okluzní rovině pro ortodontickou diagnostiku. V této studii jsou porovnávány následující parametry: úhel ANB, Wits analýza, úhel β , úhel Yen a úhel W, jejich validita a spolehlivost ortodontického měření. Kefalometrická analýza je založena na lineárních měřeních a měření úhlů a takto měřená analýza je nezbytnou součástí ortodontické praxe. Každá analýza má však svá omezení a nedostatky. Úhel ANB je ovlivněn pozicí bodu N a rotací čelisti zatímco Wits analýza může lékaře uvést v omyl právě okluzní rovinou a prořezávajícími se zuby. Úhel β je založen na měření, které používají střed bodu condylion (nejvíce dorzokraniální bod kondylu), ten také není bodem, kterým by se lékař měl orientovat. Proto probíhají výzkumy nových analytických metod, které nejsou značně ovlivněny právě vertikálními vztahy a jsou založeny na více spolehlivějších a reprodukovatelnějších strukturách. Bod S (sella), bod M a bod G se používají ke zjištění úhlů W a Yen. Bylo zveřejněno několik studií o ANB úhlu a o WITS analýze, ale jen málo výzkumů se zabývá spolehlivostí a přesností úhlu β . Úhel W a úhel Yen doposud není ověřen a nikdy nebyly porovnány s jinými dostupnými analýzami, za účelem zjištění jejich spolehlivosti. Cílem tohoto článku bylo ověřit platnost několika běžných sagitálních analýz včetně nově zavedeného úhlu W a Yen.

Tato průřezová studie byla provedena na ortodontickém oddělení zdravotnické univerzity Baqai Medical University v Pákistánu. Data zahrnovala 209 náhodných kefalometrických rtg snímků před ortodontickou léčbou. Této studii se zúčastnilo 92 mužů a 117 žen. Průměrný věk skupiny byl 17,83 let. Byly to pacienti s kompletním trvalým chrupem. Do studie nebyli vybráni pacienti, kteří měli kraniofaciální malformace, rozštěp rtů a patra a pacienti s asymetrickou tváří. Sledování proběhlo standardním způsobem jednotlivým zkoumáním následujících parametrů.

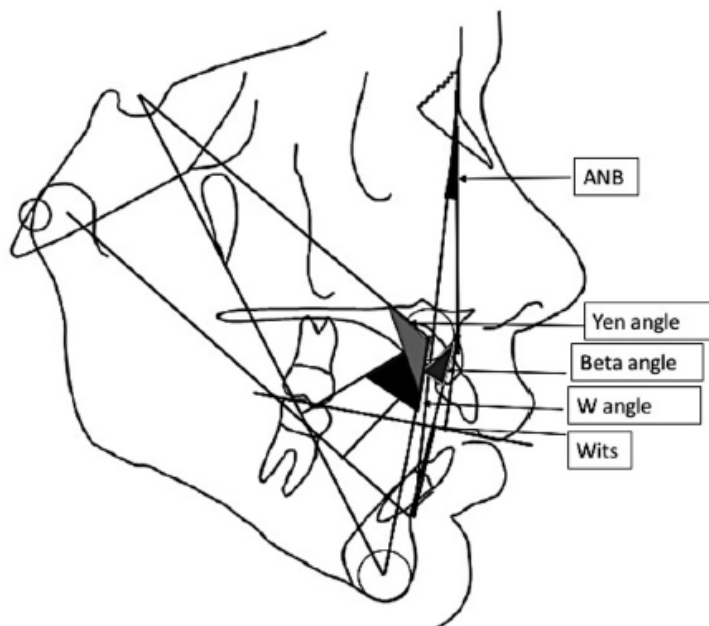
- Úhel ANB – úhel mezi SNA a SNB
- WITS analýza – horizontální vzdálenost mezi bodem AO a BO na funkční okluzální rovině, z bodu A a z bodu B jsou na funkční okluzální rovinu spuštěny kolmice a následně se měří vzdálenost bodu AO a BO
- Úhel β – úhel mezi liniemi A a B a kolmá přímka spuštěná od C-B (což je přímka, která spojuje centrum kondylu a bodu B) k bodu A
- Úhel W – úhel mezi linií M-G (M je středový bod na přední části horní čelisti a bod G je centrem mandibulární symfýzy) a kolmé linie vedoucí od bodu M k linii S-G
- Úhel Yen – úhel mezi linií S-M a linií M-G

Pacienti byli zařazeni do tří skeletálních tříd podle kefalometrických měření, vztahem řezáků a profilem, který byl odvozen z dokumentace pacienta. Pacienti kteří splňovali alespoň pět ze sedmi kritérií byli následovně klasifikováni. Ke kontrole sledovaných chyb byl použit Dalbergův vzorec.

$$ME = \sqrt{\sum(x_1 - x_2)^2} / 2n \quad (1)$$

Přičemž x1 je známo jako první měření, x2 jako druhé měření a 2 představuje počet opakovaných záznamů.

Data byla analyzována pomocí softwaru SPSS verze 20 a hladina spolehlivosti byla nastavena na 5%. Deskriptivní analýza byla použita pro výpočet maximálních a minimálních hodnot, středních a standardních odchylek. Byla použita Cramerova korelace, aby byla ověřena spolehlivost všech použitých analýz při hodnocení kosterních malokluzí v sagitální rovině,



Obrázek 1.5 Kefalometrické úhly

V tabulce 1.4 je rozdělení pacientů dle skeletálních tříd. Nejvíce pacientů bylo zařazeno do třídy 2. Rozdělení pohlaví můžete vidět v tabulce 3.

Tabulka 1.4 Rozdělení pacientů dle pohlaví

Skeletal Class	Class I	Class II	Class III	Total
Males	44	36	12	92
Females	41	58	18	117
Total	85	94	30	209

V tabulce 1.6 můžete vidět střední hodnoty ANB, WITS, β a úhlu Yen a W. Sloupec v tabulce 1.6 s názvem ANOVA ukazuje statisticky významné rozdíly ve všech měřených hodnotách mezi skeletálními třídami $p \leq 0,001$.

Tabulka 1.5 Střední hodnoty parametrů

Analysis	Class	Mean \pm SD	ANOVA p value
ANB ($^{\circ}$)	I	3.47 \pm 1.46	< 0.001**
	II	6.29 \pm 1.70	
	III	-2.40 \pm 4.21	
Wits (mm)	I	1.09 \pm 2.49	< 0.001**
	II	4.34 \pm 3.59	
	III	-6.13 \pm 4.80	
Beta angle ($^{\circ}$)	I	30.11 \pm 3.49	< 0.001**
	II	26.46 \pm 4.70	
	III	41.50 \pm 6.83	
W angle ($^{\circ}$)	I	54.44 \pm 2.59	< 0.001**
	II	49.32 \pm 5.12	
	III	62.60 \pm 5.21	
Yen angle ($^{\circ}$)	I	119.40 \pm 3.51	< 0.001**
	II	113.86 \pm 4.32	
	III	131.00 \pm 7.80	

Tabulka 1.6 Počet jednotlivých pacientů skeletálních tříd dle analýzy a korelace

Method of analysis	ANB	Wits	Beta angle	W angle	Yen angle
<i>No. of cases in each category</i>					
Class I (85)	60	72	71	62	65
Class II (94)	80	59	51	77	65
Class III (30)	23	21	27	25	27
Cramer V (r value)	0.67	0.64	0.66	0.65	0.67
Significance p value	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*

Všechny provedené analýzy skeletálních tříd byly stejně spolehlivé. Byla zjištěna statisticky významná korelace mezi skeletálními třídami a všemi provedenými sagitálními analýzami. V tabulce 1.6 jsou všechny provedené analýzy, ukazují značně rozdílné hodnoty pro všechny tři skeletální třídy, ale také byly zjištěny, že jsou stejně spolehlivé v diagnostice skeletálních vad.

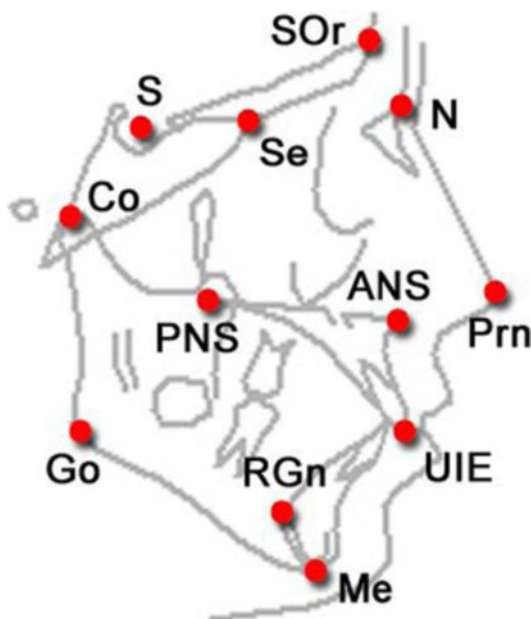
Závěr

Všechny skeletální kefalometrické sagitální analýzy použité v této studii byly statisticky vyhodnoceny jako spolehlivé a mohou být použity v ortodontické praxi. Všechna provedená měření ANB, WITS, Y úhel, Yen úhel mají různé statisticky významné hodnoty pro skeletální třídu I, II, III. U všech analýz byla zjištěna stejná diagnostická důležitost. Laterální kefalometrická analýza je značně užitečný nástroj pro ortodontickou praxi a je používána díky Broadbentovi od roku 1931. K většině ortodontických vad dochází v sagitální rovině, proto je analýza čelistí v předozadní rovině nejdůležitější. V předchozích podobných studiích byly zjištěny nepatrné rozdíly v měřených parametrech.

1.4 Vývoj a hodnocení kefalometrického systému Ceph-X [15]

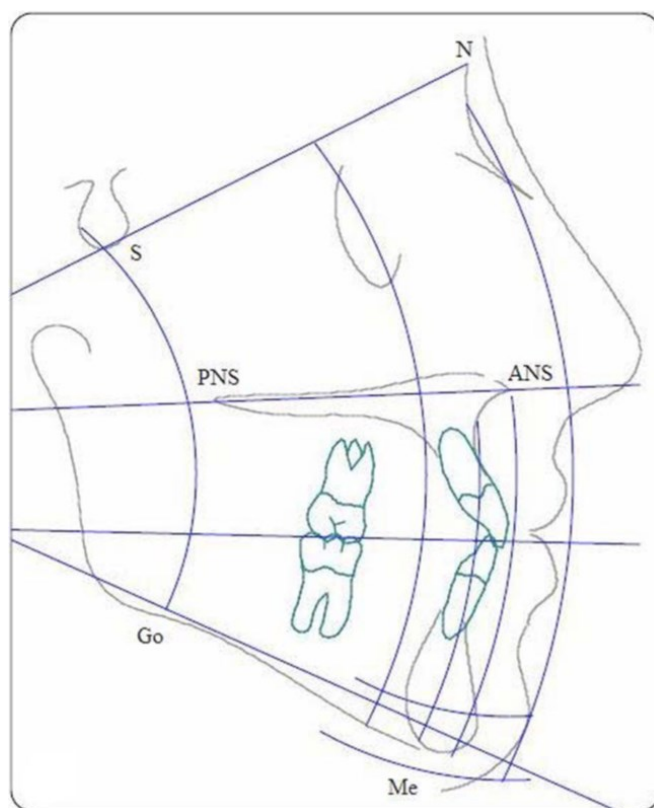
Kefalometrická analýza a měření parametrů lebky pomocí rentgenových snímků hrají důležitou roli v predikci a monitorování ortodontické léčby. Bylo vyvinuto několik kefalometrických systémů, nicméně nejsou známy informace o jejich spolehlivosti, výkonnosti a využitelnosti. Manuální analýza a měření kefalometrických bodů a linií je časově náročná. Tato studie využívá některé techniky k vyhodnocení spolehlivosti, využitelnosti pomocí metod SUS kefalometrického systému, který doposud nebyl v předchozích studiích aplikován.

Slovo kefalometrie je složeno ze dvou latinských slov: cephalo (hlava), metrics (měření). Kefalometrie je tedy měření lidské hlavy pro účely zhodnocení kraniofaciálního růstu. Vztah lebky lze hodnotit pomocí kefalometrických metod pro horizontální i vertikální lineární úhlové měření. V ortodonticii se používají rentgenové snímky k vyznačení konkrétních bodů pro získání různých úhlových a lineárních parametrů. Tyto body nazýváme kefalometrické orientační body.



Obrázek 1.6 Použité kefalometrické body

V této studii byl vyvinut nový systém Ceph-X, jehož cílem je nahradit ruční měření ortodontistou softwarem. Ceph-X byl vyvinut pomocí metod zpracování obrazu. K vývoji byl použit



Obrázek 1.7 *Manuální analýza*

software Matlab 14. Ceph-X obsahuje tři hlavní modely. První model představuje vylepšení obrazového modelu, druhý umísťuje orientační body a třetí je výpočetní model. Do této studie bylo zahrnuto 30 dospělých pacientů z Malajsie s trvalým chrupem ve věku 21 let. Vybrané snímky byly převedeny do digitálního formátu a uloženy v počítači. Ceph-X byl pak vyhodnocen pomocí zhotovených rentgenových snímků. Tři odborníci se podíleli na vyhodnocení přesnosti 12 obvyklých kefalometrických bodů. 20 ortodontických specialistů se podílelo na vyhodnocení využitelnosti a spokojenosti uživatelů se softwarem Ceph-X.

Vývoj systému

Ceph- X vznikl aplikováním některých metod zpracování obrazu, aby byly optimalizovány telorentgenové obrazové výstupy tak, bylo možné umístit kefalometrické body a automaticky vypočítat lineární a úhlové kefalometrické data.

Model vylepšování obrazu

Snímky jsou zatíženy šumy, které pocházejí z několika zdrojů, a proto je nutné snímek předzpracovat, aby byla zajištěna přesnost umístění kefalometrických bodů a přesnost následného měření. K vylepšení bylo použito Unsharp a Gaussian filtrů.

Model lokace kefalometrických bodů

Tento model byl vyvinut pro manuální nalezení kefalometrických bodů na rentgenovém snímku, aby došlo k odstranění chyb. Do modelu bylo implementováno 11 bodů, které můžeme vidět na obrázku. Každá pozice bodu má souřadnice x,y aby bylo možné provést následné lineární měření.

Model měření



Obrázek 1.8 Model lokace kefalometrických bodů

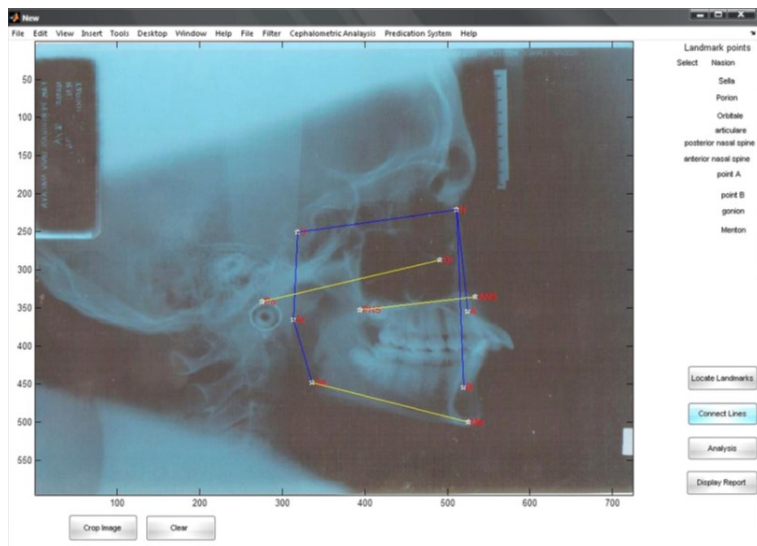
Tento model byl navržen hlavně k získání výsledků měření pro 18 lineárních a úhlových parametrů (6 úhlů a 12 vzdáleností) použitím několika geometrických algoritmů, které budou popsány v následujících odstavcích.

Tabulka 1.7 *Kefalometrické parametry použité ve studii*

Landmark Points (11)	Lines (12)	Angles (6)
N: Nasion	Po - Or	SNA
S: Sella	ANS - PNS	SNB
Po: Porion	Me - Go	ANB
Or: Orbitale	S - N	FMA
Ar: Articulare	N - A	PMP
Go: Gonion	N-B	NSAR
Me: Menton	N-Me	
ANS: Anterior nasal spine	N-ANS	
PNS: Posterior nasal spine	ANS-Me	
Point A: sub spinal	S-Go	
Point B: suprarental	S-Ar	
	Ar-Go	

Lineární měření

Tento model umožňuje spojení kefalometrických bodů a výpočet vzdáleností mezi nimi. Je navržen pro zakreslení kefalometrických linií na rtg snímcích, jak lze vidět na obrázku 1.9 a pro získání hodnot v mm.



Obrázek 1.9 *Model lineárního měření*

Vyznačené body byly použity jako základní parametry. Z matematického hlediska se jedná o dva vektory označené jako p1 se souřadnicemi x1, y1 a p2 se souřadnicemi x2, y2. Algoritmus je navržen tak, aby vygeneroval body G a jejich souřadnice a následně je délka vzdálenosti mezi dvěma body vypočtena pomocí Pythagorovy věty:

$$d^2 = (y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 \quad (2)$$

Pro exaktní měření byly použity dvě rovnice pro výpočet rozlišení monitoru nebo hustoty/počet pixelových bodů snímku.

PPI (pixel za palec) = rozlišení obrázku/rozlišení monitoru

Vzdálenost v palcích = vzdálenost v pixelech /PPI

Úhlové měření

Úhlové měření bylo navrženo k výpočtu specifických úhlů ve stupních podle principů kefalometrie. Teoretický úhel může být vytvořen spojením tří bodů nebo protnutím dvou rovin v XY systému. Ve 2D prostoru byl použit následující vzorec pro získání úhlů mezi dvěma liniemi.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{m_1 - m_2}{(1 + m_1 * m_2)} \quad (3)$$

Byla použita matematická rovnice pro získání m1 a m2 nalezením změn mezi dvěma náhodnými body:

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} \quad (4)$$

Proces přepočtu úhlů z radiánů na stupně pomocí následující rovnice:

$$\text{úhel } (^\circ) = \text{úhel}(\text{radian}) / ((2 * \pi)) / 360 \quad (5)$$

Následně byl použit model reportu. Datový soubor, který obsahuje úhlové a lineární výsledky, který je automaticky vygenerován, aby mohl být zobrazen k ortodontickému použití jako report ve formátu .html.

Tabulka 1.8 Výsledky srovnání

parameter/ Case	Automatic		Manual		T-test
	Mean	SD	Mean	SD	
Po - Or	7.39	0.534	7.59	0.652	0.01
ANS - PNS	4.66	0.217	4.74	0.25	0.0016
Me - Go	5.72	0.397	5.85	0.497	0.004225
S - N	6.36	0.241	6.44	0.207	0.0016
N - A	4.63	0.309	4.74	0.299	0.003025
N - B	5.74	0.317	5.87	0.333	0.004225
N-Me	10.53	0.678	10.76	0.706	0.013225
N-ANS	4.42	0.257	4.44	0.28	0.0001
ANS-Me	6.4	0.641	6.53	0.432	0.004225
S-Go	7.5	0.365	7.64	0.417	0.0049
S-Ar	3.14	0.384	3.11	0.431	0.000225
Ar-Go	4.71	0.401	4.8	0.371	0.002025

Ve studii bylo použito 30 snímků a na každém snímku byly měřeny ortodontisty jednotlivé parametry (vždy manuálně i softwarově). Data byla klasifikována do dvou skupin. Dodatečně byly výsledky manuálního a automatického postupu pro lineární a úhlové měření analyzována pomocí t-testu se statisticky významnou hladinou P hodnoty (tabulka 1.8.). Tabulka 1.8 zahrnuje čas měření, výkonnost Ceph-X a hodnocení časového hlediska. Výsledky ukazují značnou úsporu času.

Matematické vzorce použité v Ceph-X zlepšily přesnost systému převodem různých jednotek měření mezi softwarovým a manuálním měřením a získáním lineárního a úhlového měření, které je podobné konvenčním metodám. Tabulka 8 ukazuje značné rozdíly v časech srovnání manuální a počítačové metody ve všech kefalometrických analýzách a stádiích měření. Proto Ceph-X prokázal svou efektivnost zkrácením času ortodontistům při kefalometrických analýzách. Výsledky celého procesu ukázaly desetinásobně zkrácení času v porovnání s manuálním postupem.

Závěr

V této studii byly provedeny dvě metody vyhodnocení spolehlivosti a využitelnosti systému Ceph-X. Výsledky ukázaly, že Ceph-X zvýšil výkon specialistů a minimalizoval dobu zpracování kefalometrických měření. Navíc analýza ukázala, že systém Ceph-X má vynikající uživatelskou zpětnou vazbu. Ceph-x prokázal svou spolehlivost a využitelnost s klinicky přijatelnými odchylkami v měření. Budoucí studie bude provedena na větší skupině lidí. Systém Ceph-X zkrátí čas a úsilí, které je potřebné pro kefalometrickou analýzu speciálně pak pro získání kefalometrických bodů s použitím pravítka a úhloměru v manuálním přiblížení. Kefalometrický systém by měl umět vylepšit obraz a také umístit do snímku všechny potřebné kefalometrické body. Dále umožňuje analyzovat lineární a úhlové poměry. Systém Ceph-X je upřednostňován v ortodonticii pro svou spolehlivost, uživatelskou nenáročnost a úsporu času.

Tento článek mi mimo jiné poslouží k vytvoření jednoduchého uživatelského rozhraní s následnou implementací algoritmů pro výpočet vzdáleností dvou bodů a pro výpočet úhlů, což je cílem mé bakalářské práce.

1.5 Kefalometrické normy pro β úhel a MMBP-Wits [16]

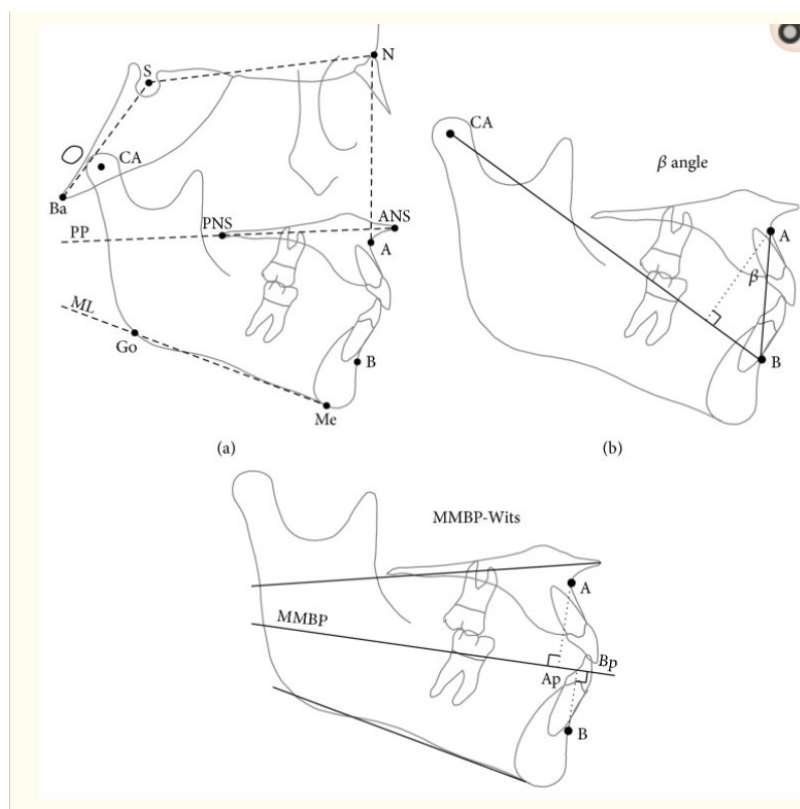
Důležitost přesného měření sagitálních vztahů (skeletálních tříd) je nezbytný pro plánování léčby v ortodoncii. Úhel ANB, β a MMBP WITS jsou ukazatelé vztahu sagitálních vztahů čelisti. Všechny tyto ukazatelé podléhají geometrickému zkreslení, obzvláště pokud se jedná o rozdílnější čelisti. Právě proto jsou nezbytné individuální normy. Tato studie poskytla normy pro ANB úhel a poprvé i pro β a MMBP WITS. Kefalometrické snímky byly získány od 119 subjektů, 74 žen a 45 mužů. Průměrný věk skupiny byl 11,2 let v rozmezí od 8 do 14 let s vyváženými obličejovými poměry a téměř ideální okluzí. Zatímco ANB úhel podléhá většímu geometrickému zkreslení v porovnání s β a MMBP WITS. Normy mohou být použity pro individualizaci odkazových hodnot u β a MMBP WITS. Zkušený ortodontista prověřil případy s inkluzí z fotografií subjektů. Tyto snímky byly analyzovány a porovnány s bočním kefalometrickým snímkem, aby byl posouzen pacientův profil. Druhý zkušený ortodontista analyzoval záznamy, aby zajistil, že se studie zúčastní jen vybraní subjekty. Ve studii byly použité následující kefalometrické body, linie a úhly: bod A, bod B, bod N, bod S, úhel ANB, MMBP WITS. Tyto body linie a úhly lze pozorovat na obrázku 1.10.

Kefalometrická analýza

V této studii byla provedena analýza s kefalometrickým softwarem ViewBox verze 3.0. Kefalometrická analýza této studie požadovala digitalizace 10 bodů. Ukazatelé vztahu sagitálních čelistí byly: úhel ANB, β . Úhel β byl definován mezi kolmou čarou od bodu A do bodu B a následně z bodu B do CA. MMBP WITS lze vidět na obrázku 10 dole. Další kefalometrické parametry zahrnovaly další čtyři úhlová měření SNA úhel, SN/PP úhel, SN/MP úhel a NSBa úhel. Laterální kefalogramy byly normalizovány jako reálné rozměry, tzn. se zvětšením 0 %. Všechny kefalogramy byly expertním ortodontistou analyzovány a druhým výzkumníkem porovnávány.

Metoda error a statistické analýzy

V této studii byl dále použit software SPSS k provedení analýzy následných dat. Deskriptivní statistika pro každý zkoumaný parametr zahrnovala průměrnou odchylku, medián, minimum a maximum. Vztahy mezi již zmíněnými úhly ve studii byly zhodnoceny a proměřeny mezi sebou. SNA, SN/PP, SN/MP úhly byly porovnány s ANB úhlem, β úhlem, a MMBP-Wits a porovnány s lineárními modely kostěných lebek. Úrovně důležitosti byly stanoveny na hodnotu 0,01 a 0,05. Chyby v měření úhlů byly v rozsahu od 0,5° do 1,2°. Chyby pro MMBP Wits byly 0,6 mm.



Obrázek 1.10 Kefalometrické linie, úhly, vzdálenosti

Tabulka 1.9 ukazuje popis použitých parametrů ve studii s výslednými hodnotami.

Tabulka 1.9 Popis statistiky pro každý analyzovaný parametr

Parameter	Mean ± SD	Median	Minimum	Maximum
Maxillomandibular, anteroposterior				
ANB (°)	2.9 ± 1.3	3.0	0.0	5.0
β angle (°)	30.3 ± 3.5	30.3	21.8	39.9
MMBP-Wits (mm)	-2.4 ± 2.4	-2.0	-9.4	3.7
Maxillomandibular and cranial base, anteroposterior and vertical				
SNA angle (°)	81.2 ± 3.3	80.7	72.2	89.8
SN/PP angle (°)	8.5 ± 15.7	7.0	0.7	174.6
SN/MP angle (°)	32.1 ± 4.6	31.6	21.5	44.6
NSBa angle (°)	129.4 ± 5.2	129.5	119.1	140.7

SD, standard deviation.

Tabulka 1.10 ukazuje výsledky normy pro úhel β a MMBP WITS. Některé subjekty mohou mít první skeletální třídu a harmonický profil distancující se od normových hodnot. Proto je užitečné nahradit standardní kefalometrické hodnoty průměrnými hodnotami odvozenými od vzorku populace s individuálními normami založenými na asociaci mezi příslušnými kefalometrickými proměnnými. Podle stupně maxilárního výběžku (úhel SNA) a divergence obličeje (SN/MP úhel) mohou ortodontisté zvolit méně zkreslený index vztahu sagitální čelisti pro dosažení přesnější diagnostiky. Při použití plovoucí normy pro úhly SN/MP a SNA je možné odvodit individuální hodnoty pro každého pacienta. Kromě toho, s ohledem na standardní odchylky zde odvozené, je možné získat odpovídající intervaly takových individualizovaných norem. Pokud hodnota náleží k intervalu danému střední hodnotou a směrodatnou odchylkou, může být subjekt diagnostikován tak, že má normální sagitální vztah čelistí, tj. okluzi skeletu I. třídy. Hodnoty mimo tyto intervaly by tak byly ukazatelem malokluzy II nebo III skeletální třídy.

Tabulka 1.10 *Výsledky normy*

Parameter	SN/MP angle (°)	SNA angle (°)									
		74	76	78	80	82	84	86	88	90	
β angle (°)	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32	
	28	27	27	28	29	30	31	32	33	34	
	32	28	29	29	30	31	32	33	34	35	
	36	29	30	31	31	32	33	34	35	36	
	40	30	31	32	32	33	34	35	36	37	
	44	31	32	33	34	34	35	36	37	38	
MMBP-Wits (mm)	24	2	1	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	
	28	1	0	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	
	32	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	
	36	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	
	40	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-6	-6	-7	
	44	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-8	

Závěr

Úhel ANB podléhá často značnému geometrickému zkreslení než úhel β a MMBP WITS. Normy byly poskytnuty k individualizaci referenčních hodnot pro β a MMBP WITS.

2 Stomatologie

Stomatologie též nazývána jako zubní lékařství se řadí mezi základní medicínské obory. Základní proto, jelikož význam tohoto oboru a jeho subdisciplín se stal nedílnou součástí ve všech civilizovaných zemích. Zubní kaz a choroby parodontu se staly tak rozšířeným onemocněním, které postihuje většinu populace naší planety. Péče o orální zdraví je potřeba věnovat soustavnou pozornost. Stomatologie je lékařský obor zabývající se prevencí, diagnostikou, léčbou onemocnění a úrazů dutiny ústní a tkání a také výzkumem onemocnění a vývojových poruch zubů, chrupu a všech tkání, které s ní typograficky souvisí. Cílem oboru stomatologie je zajistit adekvátní úroveň orálního zdraví. Mezi základní stomatologické obory řadíme praktické zubní lékařství, ortodontii a maxilo-faciální chirurgii. Stomatochirurgie se výrazně podílí na rozvoji dentální implantologie. Mezi nadstavbové obory, které se postupně etablovaly jsou dětská stomatologie a parodontologie, stomatologická rentgenologie, epitetika, estetická stomatologie, forenzní stomatologie, dentální implantologie a preventivní stomatologie. [1][5][8][9]

Pro mou bakalářskou práci je nejdůležitější obor ortodontie, který je samostatným lékařským oborem stomatologie. Má za úkol diagnostikovat a léčit anomálie v postavení zubů a vzájemného postavení vztahu čelistí a podle možností těmto anomáliím předcházet. Ortodontie je též také někdy nazývána jako čelistní ortopedie, jelikož úzce spolupracuje s čelistní chirurgií, která řeší složitější vady, mezi které se řadí skeletální anomálie, porozštěpové vady a deformity obličeje. Spolupráci s tímto oborem vznikl obor nazývaný jako ortognátní chirurgie. [9] [5]

2.1 Znaky fyziologické okluze

Orofaciální systém zahrnuje oblasti dutiny ústní a obličeje. Dutina ústní se z anatomického hlediska dělí na dvě části: předsíň dutiny ústní a vlastní dutinu ústní. Zuby a dásňové výběžky předělují předsíň dutiny ústní a vlastní dutinu. Pravidelný stálý chrup tvoří vyvážený morfologický funkční celek. Jednotlivé zuby tohoto funkčního celku vytváří stabilizační systém ve vztahu k sousedním zubům, k antagonistům, k čelistem a měkkým tkáním. Zuby jsou uloženy v kostěných alveolách horní a dolní čelisti. Kompletní stálý chrup tvoří celkem 32 zubů, které jsou plně prořezány do ústní dutiny, zuby se jeden druhého dotýkají v kontaktních bodech. Zubní oblouky jsou uspořádány tak, že horní řezáky ve frontální oblasti překusují dolní řezáky v rovině horizontální. Po stranách chrupu jsou vestibulární hrbolky horních premolárů a molárů postaveny vestibulárně a palatinální hrbolky horních zubů nakusují do mezihrbolkové rýhy dolních premolárů a molárů. [1][5][9][8]

Pro správné stanovení léčby musí ortodontista znát znaky pravidelné okluze. Podle Andrewse lze stanovit šest klíčů, které by pravidelný chrup měl splňovat:

- **Vztah molárů**

- dle Josefa Kučery (str. 311, [9]) je „*meziobukální hrbolky prvního moláru artikulují do mezihrbolkové rýhy prvního dolního moláru a zároveň se distální plocha distobukálního hrbolku prvního horního moláru dotýká meziobukálního hrbolku*

druhého dolního moláru, tento klíč dává předpoklady také ke správnému vztahu premolárů, špičáků a frontálních zubů“

- **Angulace korunek**
 - všechny zuby mají meziální sklon korunek
- **Vestibuloorální inklinace korunek**
- **Žádná rotace zubů**
- **Speeova křivka**
 - plochost okluzní roviny
- **Žádné mezery v zubních obloucích** [1] [3] [9]



Obrázek 2.1 Šest klíčů normální okluze, 1. Vztah molárů, 2. Angulace korunek, 3. Vestibuloorální inklinace korunek, 4. Žádná rotace zubů, 5. Žádné mezery v zubních obloucích, 6. Speeova křivka [9]

3 Ortodoncie

Název ortodoncie je složen ze dvou řeckých slov (orthos = rovný, odons = zub). [1]

Jak již ze samotného názvu „rovný zub“ vyplývá, jde o pozorování, a především o úpravu rostoucích nebo dospělých struktur chrupu a obličeje, včetně situací, kdy je zapotřebí zuby posunout nebo upravovat ortodontické anomálie a malformace přilehlých struktur. Ortodoncie je specializovaný lékařský obor. Zabývá se diagnostikou, profylaxí, terapií vývojových odchylek chrupu v nefyziologickém postavení zubů. V neposlední řadě také zkoumá vývoj a růst čelistí a lebky. Hlavním úkolem tohoto oboru v praxi je pravidelný, vyvážený chrup, který je v harmonii s obličejem pacienta. Ortodontickou léčbou je tedy možné změnit polohu dentoalveolárního systému, ovlivnit polohu kostěných struktur a působit na funkci měkkých tkání. [1][2][9]

Cílem ortodontické léčby je odstranění odchylek zubů, úprava vzájemného vztahu zubních oblouků, a především snaha docílit optimální funkční i estetický stav orofaciálního systému. Dobrý výsledek ortodontické léčby spočívá v sestavení správného léčebného postupu a určení vhodného věku pro zahájení léčby. Dalším úkolem, který ortodontická léčba zastává je ten, že se snaží pravidelně uspořádat zubní oblouky a zařadit pilířovité zuby. Znehodnocení pro protetickou náhradu jsou právě nejčastěji špičáky. Mezery v zubním oblouku lze uzavřít jen ortodontickou léčbou, někdy je potřebná úprava v poloze zubů nezbytná. Chrup lze poté doplnit intraoseálními implantáty pro protetické řešení. [1][2][9]

3.1 Ortodontické anomálie

V kapitole 2.1. jsou popsány základní znaky pravidelného chrupu. Pravidelný bezchybný chrup je však v dnešní moderní době velmi vzácný. Anomálie znamená odchylku od fyziologického stavu, kdy je změněn tvar zubu a je současně porušena jeho vnitřní struktura. Ortodontické anomálie jsou diagnostikovány na základě intraorálního a extraorálního vyšetření, odebrání detailní osobní a rodinné anamnézy, analýzy studijních modelů, kefalometrického snímku, ortopantomogramu a fotografií pacienta. Anomálie mohou postihovat čtyři základní oblasti ke kterým patří anomálie postavení jednotlivých zubů, skupin zubů, vztah zubních oblouků, velikost a vztah čelistí. [9]

Obecnými znaky dentálních anomálií je velikost, tvar a počet. Z hlediska velikosti zubů je pro ortodontickou léčbu významná meziodistální šířka zubů. Dalším, poměrně častým jevem souvisejícím s velikostí zubů bývá zpravidla mikrodoncie, jež označuje zmenšenou velikost zubů. Nejčastěji se projevuje u horních laterálních řezáků, které mají často čípkovitý tvar. Vzácněji se vyskytuje makrodoncie, neboli nadměrná velikost zubu, která je nejzřetelnější pokud horní střední řezák přesáhne šířku 10 mm. Snížený počet založených zubů v chrupu, které nejčastěji postihuje třetí moláry je nazýván hypodoncie. Hyperdoncie je stavem, kdy jsou v chrupu přespočetné zuby, nejčastěji se tento jev vyskytuje v krajině horních středních řezáků. [1][4]

Pojem vztah zubních oblouků se rozumí vztah v rovině sagitální ve smyslu ventrodorzálním. Klasifikujeme relativní polohu dolního zubního oblouku vůči oblouku hornímu na každé straně chrupu

zvlášť, vztah oblouků na pravé a levé polovině chrupu nemusí být totožný. Tuto klasifikaci zavedl americký ortodontista v roce 1899, autor základů fixního aparátu. [1]

Na obrázku 3.2 vidíme I. třídu podle Anglea řadící se mezi okluzní klasifikaci. Na obrázku 3.2 na horním snímku vidíme klasifikaci II. třídy podle Anglea nazývanou též jako distookluze, tato třída se dále dělí na tři oddělení do kterých spadá zda-li je horní řezák v protruzi, horní řezák v retruzi či horní řezák v normálním sklonu. Poslední třídou řadící se mezi okluzální diagnostiku zařazujeme meziokluzi, která se projevuje obráceným skusem či skusem hrana na hranu. [9]



Obrázek 3.1 *Distookluze - horní snímek, meziokluze - dolní snímek* [9]

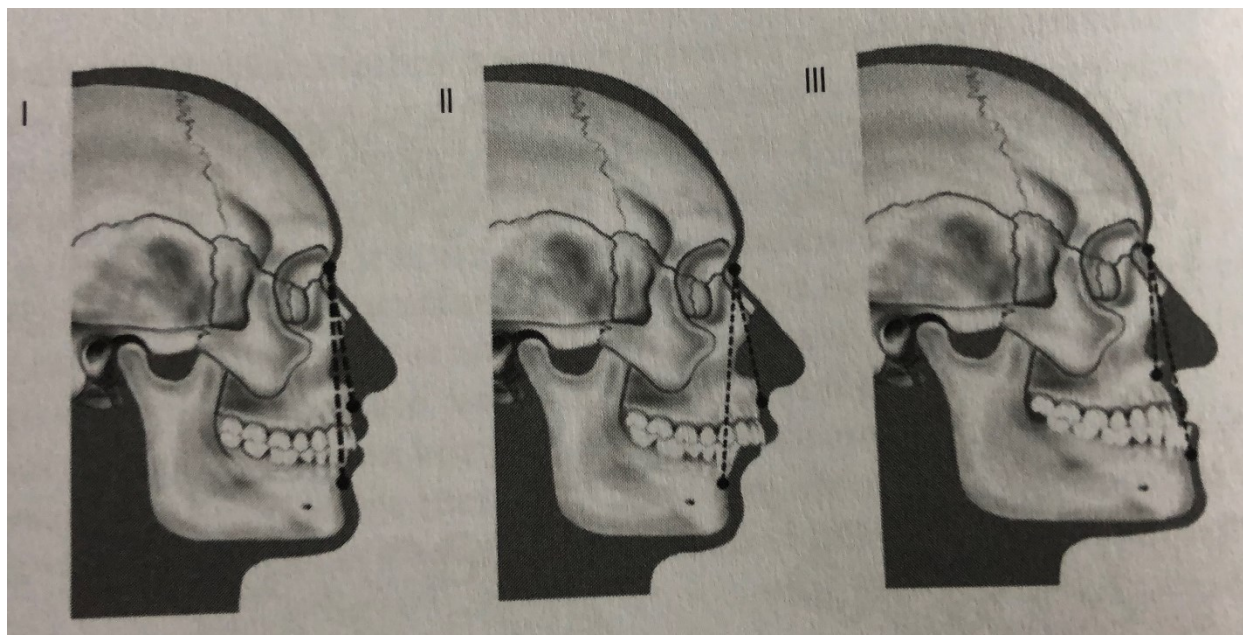


Obrázek 3.2 *Normookluze* [9]

Některé závažnější anomálie ve vztahu zubních oblouků jsou podmíněny i odchylkou v poloze a vztahu čelistních kostí. Při vyšetření nelze rozpoznat polohu vztahů a čelistí, jelikož je tato poloha překryta měkkými tkáněmi. Pokud se provede intraorální vyšetření, na snímcích jsou vidět pouze alveolární výběžky, ty ale nesouvisí s polohou vztah a čelisti ale s polohou zubů. Proto se k posouzení velikosti a polohy čelistí využívá kefalometrický rentgenový snímek (popsán v kapitole 4.2.), který lze proměřovat. Analyzují se bazální části bez alveolárních výběžků. Diagnostickým ukazatelem této diagnostiky je úhel ANB – bod A je označován jako subspinale neboli je to bod nejhlubší v konkavitě, bod N nazýván mezi ortodontisty jako nasion představuje přední okraj mezi čelem a nosem, bod B je označován jako supramentale neboli nejhlubší bod v konkavitě přední kontury alveolárního výběžku mandibuly. [2][8]

Klasifikace skeletální je rozčleněna do tří skeletálních tříd:

- I. skeletální třída, charakteristický je již zmíněný úhel ANB, který se pohybuje v rozsahu od -1 až +5 stupňů, záporná hodnota ANB je tehdy, pokud je mandibula ventrálněji než maxila
- II. skeletální třída, dolní čelist je vzhledem k horní čelisti relativně dorzálně, úhel ANB je větší než + 5 stupňů, větší horní čelist nebo menší dolní čelist
- III. skeletální třída, dolní čelist je vzhledem k horní čelisti relativně ventrálně, úhel ANB je menší než -1 stupeň [8]



Obrázek 3.3 *Skeletální třídy* [8]

Ortodontické anomálie jsou v naší populaci stále více častějším jevem, 35–95 % obyvatelstva jimi trpí. Ortodontické anomálie vznikají hned z několika nepříznivě působících faktorů na orofaciální systém. Pacientovy anomálie jsou zapříčiněny vlivem dědičnosti, často ale také vlivy endogenního a exogenního charakteru. Exogenní vlivy jsme schopni z jisté míry ovlivnit i my sami, jelikož mezi ně řadíme alkohol, některé léky, působení chemických látek, vliv fyzikálních látek, např. rtg záření. K exogenním faktorům lze zařadit také prodělání infekčního onemocnění, které způsobí prvotní poruchu vývoje čelisti či rozštěp patra a rtu. Pokud na pacienta dlouhodobě tyto nepříznivé vlivy působí, je zde zvýšená pravděpodobnost výskytu ortodontických anomálií. [9]

4 Ortodontická dokumentace pacienta

Vyšetření každého ortodontického pacienta je individuální, používá se řada vyšetřovacích metod a pomůcek i dokumentačních postupů. Standardní dokumentace je nutná ke správnému sestavení plánu a zahájení léčby. Dokumentace je pracovní, forenzní dokument. Dobře vedená dokumentace je prevencí chyb způsobených nedůsledností a slouží také jako jediný dokument při obvinění lékaře z nesprávně zvolené léčby. U ortodontického pacienta jsou využívány následující metody: [1]

- **Anamnéza**
 - anamnestické vyšetření se zajímá o výskyt podobných anomálií u rodičů a sourozenců, zvláštní pozornost je věnována frekvenci onemocnění horních cest dýchacích
- **Aspekce**
 - hodnotíme pacientův obličej a celkovou tělesnou stavbu, do chorobopisu uvádíme jizvy, operaci rozštěpu, asymetrie, hemiatrofie faciei (atrofie poloviny určité oblasti)
 - diagnostikujeme vlastní ortodontickou anomálii
- **Palpace**
 - odhad tvarní hrany mandibuly, podle které lze usuzovat na růstovou rotaci dolní čelisti
 - zvýšený sval, který probíhá od alveolárního výběžku mandibuly ke kůži brady
 - jizvy po operaci rozštěpu rtu, tuhé jizvy na rtech nebo tvářích
 - otevírání a zavírání dolní čelisti v místě čelistního kloubu
 - orientační ověření vyklenutí alveolárních výběžků v místě zubů před prořezáním
- **Všeobecné stomatologické vyšetření**
 - zaregistrován stav chrupu z hlediska kazivosti a biologického faktoru jednotlivých zubů
 - sanovaný chrup, bez radixů dočasných zubů
 - stav hygieny chrupu, stav gingivy, index krvácivosti papil
- **Měření na chrupu**[1]

Nezbytnou součástí ortodontického vyšetření je rentgenové vyšetření. Každá stanovená ortodontická diagnóza musí být potvrzena zobrazovacími vyšetřovacími metodami. Jedním z cílů radiologických vyšetření v ortodoncii je získání co nejpřesnějších informací o stavu chrupu pacienta. Ortodoncie pro své účely stanovení léčby využívá intraorální a extraorální snímkování. Intraorální snímkování pomáhá lékaři stanovit přesnou diagnózu. Mezi intraorální snímky řadíme bite-wing snímky, periapikální snímky a přehledné snímky. OPG snímek se řadí již mezi techniku extraorálního snímkování. Princip OPG bude vysvětlen v kapitole 0. Pro mou bakalářskou práci je důležité extraorální snímkování, jelikož se do něj mimo OPG snímky řadí také snímky kefalometrické. [1] [3]

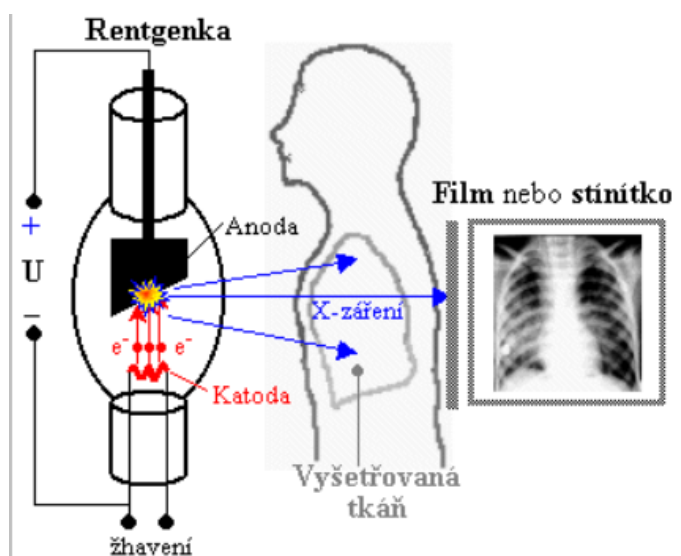
4.1 Digitální rentgen

Jelikož se má práce zabývá rentgenovým vyšetřením a je poté provedeno testování na extraorálních rtg snímcích je zapotřebí zmínit principy rentgenového záření. Rentgenová diagnostika, mezi které se řadí skiografie a skiaskopie, se stala nejdůležitější používanou aplikací ionizujícího záření v medicíně. Je to umožněno schopností rtg záření pronikat tkáně do hloubek srovnatelných s charakteristickým příčným rozměrem lidského těla s přijatelným útlumem, což neplatí pro viditelné světlo, jež je zcela utlumeno zpravidla po několika milimetrech. Rentgenové záření je – stejně jako viditelné světlo – elektromagnetické záření, avšak s mnohem menší vlnovou délkou 5 až 50 pm, což

odpovídá energii fotonů v rozmezí 20–150 keV. Z hlediska použití v medicíně je využíváno nespočet vlastností tohoto záření:

- Má biologické účinky
- proniká do látek neprůhledné pro světlo
- v některých materiálech dochází k fluorescenci
- způsobuje ionizaci a excitaci atomů absorbátoru

Základní princip, jež je zobrazen na obrázku 4.1 spočívá v proniknutí vzniklého X-záření přes pacienta. Část záření se absorbuje, záleží na tloušťce a hustotě tkáně, zbylá část záření projde tkání a bude zobrazena fotograficky, na luminiscenčním stínítku nebo v případě digitální rtg za pomoci matice detektorů. Vznikne *rentgenový obraz vyšetřované tkáně*, jež je *projekčním stínovým obrazem denzitním*, který zobrazí rozdíly v hustotě tkání. V případě digitálního rentgenu se zobrazí film v kazetách, který je rozdílný od fotografického filmu tím, že obsahuje elektronické snímání maticí detektorů. Tato matice detektorů přemění intenzitu prošlého záření na elektrický signál.



Obrázek 4.1 Základní princip rtg zobrazení, vlevo rentgenka, uprostřed pacient, vpravo film nebo stínítko [20]

V případě hlubšího zájmu o toto téma, Vás odkazuji na příslušnou literaturu, ze které bylo při psaní tohoto odstavce čerpáno. [17][18][20] [23][24].

4.2 Ochrana před zářením

Cílem ochrany při radiaci je vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a snížit pravděpodobnost stochastických účinků a v neposlední řadě optimalizovat radiační ochranu. Princip optimalizace radiační ochrany je ztotožňován s principem ALARA (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable) v překladu „tak nízké, jak je rozumně dosažitelné“. Ochrana spočívá ve snížení absorbované dávky ionizujícího záření v pacientovi na co nejnižší hodnotu. Dávku záření lze charakterizovat dle intenzity, druhu a energie emitovaného záření, doby expozice a vzdálenosti stíněním. Je třeba dávat pozor na to, aby dávky záření byly co nejnižší. Hraniční hodnoty dávek za rok pro pracovníky činí 50 mSv, pětiletý limit je stanoven na hodnotu 100 mSv. Pro pacienty je stanovena dávka na hodnotu 1 mSv/rok.

- **Doba expozice**

- *absorbovaná dávka záření je přímo úměrná době expozice*, kdy je pacient v poli záření, co nejméně pobývat v exponovaném místě, práci s ionizujícím zářením provádět, pokud možno, nejrychleji

- **Vzdálenost**

- dodržovat dostatečně velkou vzdálenost od zdrojů záření, i od pacientů s aplikovanou aktivitou, držet zářiče co nejdále od těla, *intenzita záření a dávkový příkon je nepřímo roven druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření*

- **Stínění**

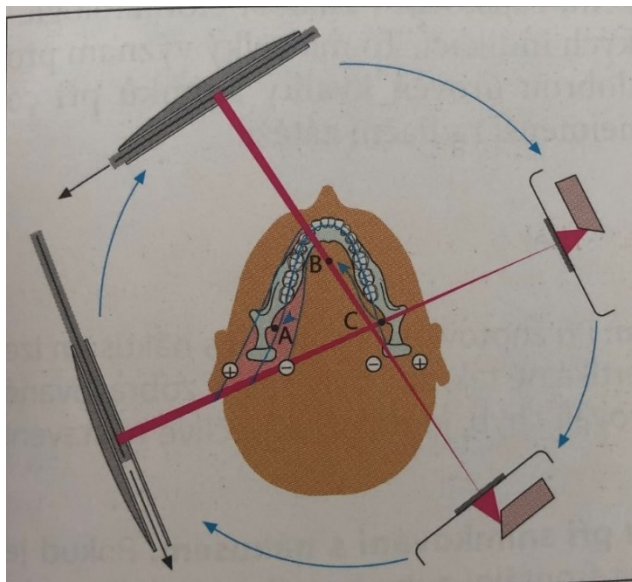
- v případě stínění jde o vhodný absorbující materiál, který by efektivně ochránil uživatele, interakce záření s vhodným krycím materiálem dosáhne absorpce určité dávky záření a tím dojde k zeslabení toku záření
- vhodný stínicí materiál = snížení intenzity záření, v některých případech úplné odstínění
- vhodným stínicím materiálem X-záření jsou látky s velkou měrnou hustotou – olovo, beton, baryt

- **ALARA (nejníže rozumně dosažitelný)**

- princip jež je přijatý světovou zdravotnickou organizací, dle ní musí být expozice tak nízká, jaké jen lze dosáhnout, vyžadováno je zamezit expozici, které se lze spolehlivě vyhnout
- do tohoto principu spadá expozice osob vlivům, které mohou vyvolat nebo zhoršit zdravotní poškození, pro která neexistují prahové hodnoty, tj. pro která existuje jen pravděpodobnost, že poškození nastane i po sebemenší expozici příslušnému vlivu (zdravotní poškození v tomto případě = rakovina, dědičné faktory)
- pokud se jedná o ionizující záření, princip nalezneme v zákonech Společenství [21][22]

4.3 Ortopantomografie

Ortopantomografie je zobrazovací metoda, která jako jediná umožňuje zobrazit na jednom rentgenovém snímku úplné znázornění čelistí, zubů, kloubů a alveolárních recesů čelistních dutin. Ortodontista díky tomuto zobrazení má šanci pochopit a vzájemně hodnotit jednotlivý žvýkacího systému. Lze diagnostikovat již zmíněnou hyperdoncii event. hypodoncii, nebo polohu zubních zárodků i směr prořezávání zubů. Pacient je díky této strategii vyšetření chráněn před radiační expozicí. Pro vykonání OPG snímku je zapotřebí zdroj záření a obrazové médium. Principem OPG je on zdroj záření, který je na místě, zatímco kazeta s filmem sloužící jako obrazové médium se otáčí ve směru hodinových ručiček kolem lebky. Obrazové médium je umístěno proto, aby zde mohl dopadnout rentgenový paprsek, který na médium dopadne primárním a sekundárním výřezem ve cloně. Na obrázku 4.1 můžete vidět vyznačeny body A, B a C, které představují tři centra rotace. Paprsek je veden po elipsoidní dráze těmito třemi centry z bodu C do bodu B a končí v bodě A. Pomocí ortopantomografie získáme ortopantomografický snímek chrupu, který je nedílnou součástí každého ortodontického vyšetření. Lékař z něj může zjistit počet zubů, zhodnotit vývoj kořene stálých zubů a v poslední řadě diagnostikovat patologické stavy kloubu a okolních částí kostí. [3] [6]



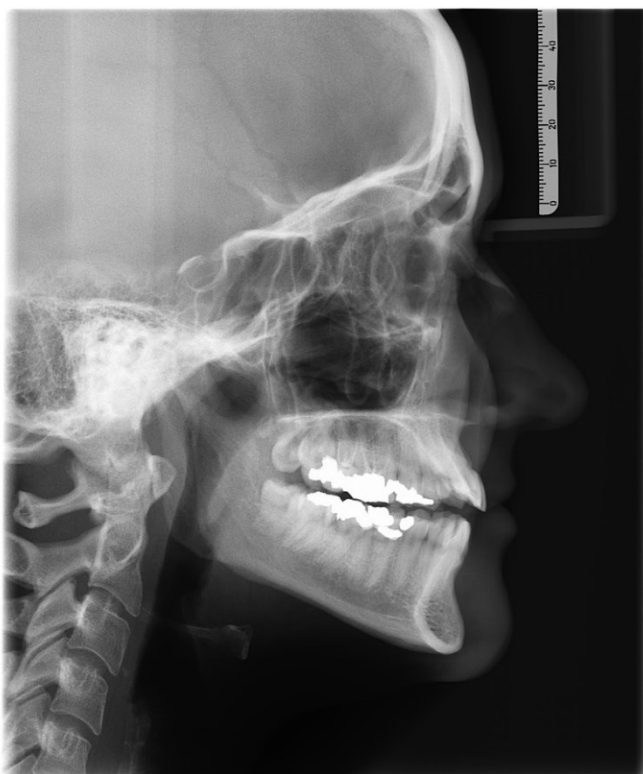
Obrázek 4.2 Princip OPG [6]



Obrázek 4.3 OPG [zdroj vlastní]

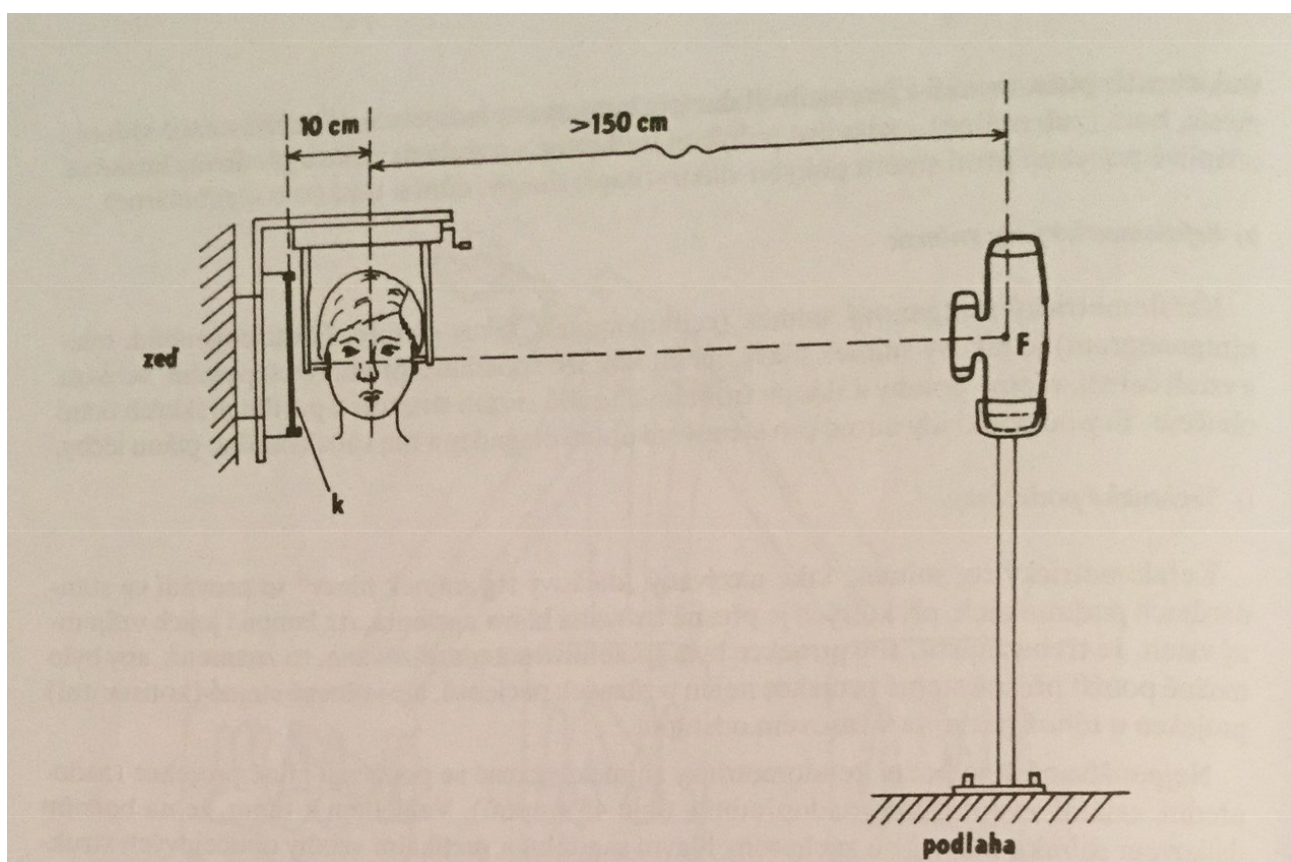
4.4 Kefalometrie

Thomas Weber [2] tvrdí, že: „Kefalometrická analýza je důležitá diagnostická metoda, která poskytuje informace o lokalizaci dysgnacie ve skeletu obličeje, o stavbě obličejového skeletu a vztahu čelistních bází vůči sobě a vůči lebce o růstové tendenci a směru růstu. Existuje mnoho kefalometrických analýz (např. Ricketsova, Steinerova, McNamarova, Segnerova a Hasundova).“ Jedná se o pomocné vyšetření, které slouží ortodontistovi ke správnému stanovení léčby. Je to analytická, popisná a deskriptní metoda, jelikož lze za pomoci stanovených poloh, bodů a linií spolehlivě porovnat standartní kefalometrické hodnoty s naměřenými hodnotami pacienta. Kefalometrickým rentgenovým snímkem nazýváme ten snímek, na kterém může ortodontista po jeho správném zhotovení indikovat léčbu a správně zhotovit plán. Z tohoto snímku zjistit polohu a vztah čelistí a pak také zjistit tyto vztahy vzhledem k měkkým tkáním obličeje. Slouží nejen k již zmíněnému sestavení plánu léčby, ale také k předpovědi typu růstu a následné kontroly růstu obličejového skeletu. Lékař tento snímek indikuje u všech ortodontických pacientů, nalezneme jej tedy ve standartní ortodontické dokumentaci. Je to dálkový snímek hlavy, který je prováděn ve standartních podmínkách, obvykle se k této projekci využívá speciální rtg přístroj, který je konstruován pro ortopantomografický snímek chrupu a má uspořádání s přídatným ramenem právě pro kefalometrický snímek. Mezi ortodontisty je nejvíce využíván boční kefalometrický rtg snímek, dalšími typy snímku, se kterými se můžeme setkat jsou zadopřední, axiální nebo také šikmý zadopřední. Boční kefalometrický snímek je využíván zejména pro přehledné zachycení hlavních sagitálních a vertikálních vztahů obličejových struktur. [1][4]



Obrázek 4.4 Boční kefalometrický rtg snímek [zdroj vlastní]

Standardní projekce bočního kefalometrického snímku dle Kamínka [4] je zajištěna fixací hlavy pacienta, fixací rtg lampy, standardní polohou kazety s rtg filmem a standardní vzdáleností hlavy pacienta a rtg lampy. Fixace hlavy je zajištěna kefalostatem, což je zařízení, které je upevněno k rigidní konstrukci. Je složeno ze dvou ramen, které bývají z plexiskla. Pro správnou fixaci hlavy jsou ramena vybavena dvěma čepy, která se vsunují do zevních zvukovodů pacienta. Nejdůležitější podmínkou pro přesnou boční projekci je, aby rentgenová lampa ležela v určité vzdálenosti na prodloužené spojnici čepů kefalostatu. Kazeta s rtg filmem je upevněna do kefalostatu paralelně se střední sagitální rovinou hlavy ve standardní vzdálenosti. Vzdálenost mezi ohniskem hlavy a hlavou pacienta je stanovena na 1,5 m. Pro přesné zachycení boční projekce je hlavní podmínkou fixace rtg lampy, která je fixována tak, že její poloha musí být v určité vzdálenosti na delší straně spojnici čepů kefalostatu. [1][4]



Obrázek 4.5 Princip techniky kefalometrického rtg snímku [4]

Před tím, než začneme kefalometrický snímek vyhodnocovat, je zapotřebí zkontrolovat jeho kvalitu. Na kvalitním snímku jsou zřetelné kostní tkáň včetně struktury baze lební, korunek i kořenu zubů, tak i profil měkkých tkání. Snímek posuzujeme nejprve aspekci, podrobněji až na základě proměření. Aspekce slouží k hledání výraznějších skeletálních odchylek jako podklad pro anomálie chrupu. [1]

K proměření kefalometrických snímků slouží předem přesně definované body, linie a úhly, které reprezentují polohu jednotlivých struktur. Nejpoužívanější kefalometrické body, linie a úhly jsou přehledně vysvětleny v Tabulka 4.1.

Tabulka 4.1 *Nejpoužívanější kefalometrické body, linie a úhly [1][2]*

Zkratka	Název	Definice
A	A bod (subspinale)	nejzadnější bod na přední kontuře horního alveolárního výběžku
ANS	přední spina	nejpřednější bod nazální spiny
AR	articulare	průsečík dolní kontury lebeční báze a zadní kontury
B	bod B (supramentale)	nejhlubší bod v konkavitě přední kontury alveolárního výběžku mandibuly
FOL	funkční okluzální linie	probíhá místem největšího počtu hrbolků horních a dolních molárů a premolárů
N	nasion	přední okraj nasofrontalis
S	sella	centrum sella turcica
Me	menthon	bod nejnižší na linii kostěné brady
Go	gonion	průsečík tangenty zadní linie ramus mandibulae a tangenty planum mandibulae
NSML		úhel mezi liniemi NS a ML
SNA, SNB		úhly vypovídající o možné retrognathii maxily a mandibuly
ANB		úhel klasifikující sagitální mezičelistní vztahy
NS		zjednodušeně reprezentuje bazi lební
ML	mandibulární linie	prochází nejspodnějším bodem symfýzy mandibuly a je tangenciální se zadní částí dolního okraje mandibuly

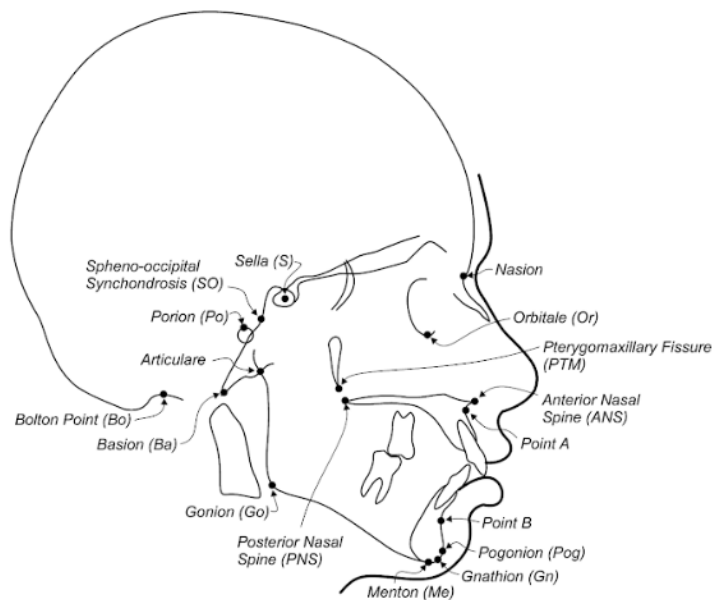
Pro posouzení a následný další způsob léčby potřebujeme znát čtyři informace: sagitální vztah čelistí, vertikální vztah čelistí, pravděpodobnou růstovou rotaci a polohu řezáků. Lékař potřebuje tento boční vyhotovený snímek vyhodnotit. Toto vyhodnocení kefalometrického snímku je nazýváno jako analýza kefalometrického snímku. Pokud chceme správně vyhodnotit tento snímek, musíme znát přirozenou variabilitu všech kefalometrických rozměrů v běžné populaci. Kefalometrickou analýzu lékař nemůže hodnotit z pohledu hodnot jako normální či nenormální, ale musí pochopit různé typy stavby lebky a následně různý sklon přední báze. Onen sklon a typ lebky jsou klíčovými prvky ke stanovení správného typu obličeje. [1]

Pokud máme vyhotoven snímek, máme na něm vyznačeny kefalometrické body, jsme schopni již posuzovat dané polohy čelistí, určit skeletální třídy, vertikální vztahy a polohu řezáků: [1]

- **Poloha horní a dolní čelisti**

Horní čelist lze charakterizovat dle bodu A. Dolní čelist lze charakterizovat dle bodu B. Polohu horní a dolní čelisti určíme úhly reprezentujícími vztah čelistí k bazi lební – úhly SNA, SNB, SNPo. Ke správnému určení obličejového skeletu je zapotřebí znalost stavby obličejového skeletu. Z hlediska anatomického má retrognátní typ obličeje větší sklon

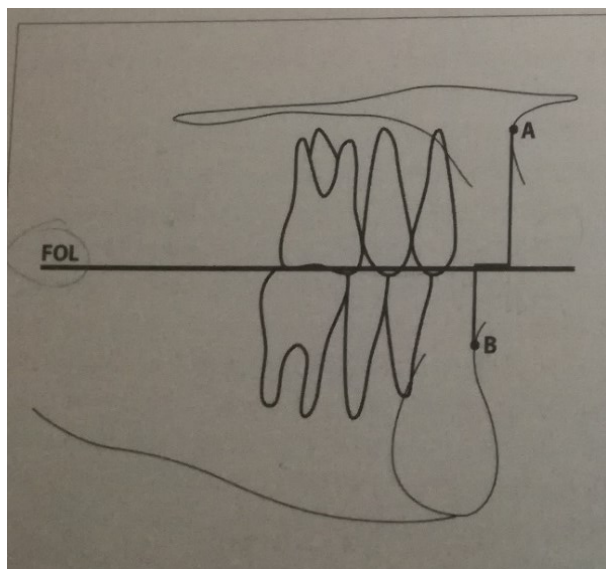
přední baze lební, prognátní typ naopak sklon této baze menší. Ortognátním typem obličejového skeletu je skelet jehož úhly SNA i SNB jsou v rozsahu jedné směrodatné odchylky. Velkými úhly SNA a SNB charakterizujeme prognátní typ skeletu, který má obě čelisti zdánlivě ventrálně. Posledním typem je retrognátní typ skeletu, u něhož jsou obě čelisti zdánlivě dorzálně. Nejměřenějším typem linie je linie NS.



Obrázek 4.6 Umístění kefalometrických bodů na lebce [10]

- **Skeletální třídy**

Pro určení skeletálních tříd je zapotřebí stanovení úhlu ANB jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, kde byly skeletální třídy znázorněny na obrázcích. Úhel ANB určuje vztah čelistí navzájem, tedy vztah v profilu obličeje. Pro určení vztahu čelistí ke chrupu je zapotřebí hodnoty WITS, která bývá v běžné populaci rovna hodnotě nula. K samotnému určení WITS je zapotřebí již zmíněných bodů A a B, z nichž jsou spuštěny kolmice na funkční okluzální linii. Hodnota WITS je zjištěna jako vzdálenost mezi body, které se dotýkají funkční okluzální linie. Kolmice z obou bodů dopadají většinou na funkční okluzální linii v jednom bodu. Pokud tomu tak není, je pacient klasifikován dle skeletálních tříd. I. skeletální třída podle WITS je v rozmezí -2 mm až $+2$ mm, II. skeletální třída nastává tehdy, je-li dotyk kolmice z bodu A více než 2 mm ventrálně před kolmicí z bodu B. III. skeletální třídu klasifikujeme tehdy, je-li dotyk kolmice z bodu A do bodu B více dorzálně. Skeletální třídy a hodnota WITS se u stejného pacienta mohou lišit.



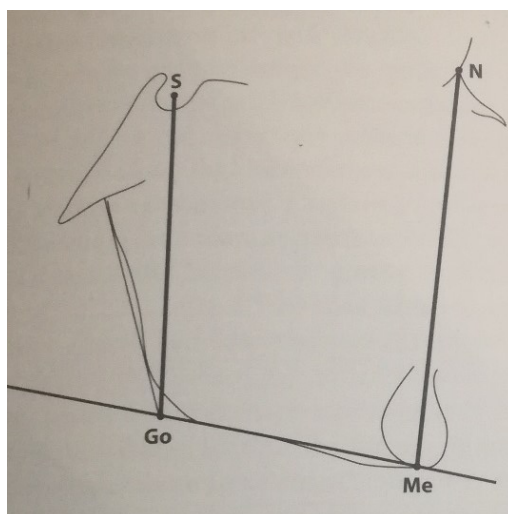
Obrázek 4.7 WITS [1]

- **Vertikální vztahy**

Úhel mezi linií NS a ML určuje divergence rovin přední baze lební a dolní hrany mandibuly. Obvykle se pohybuje v rozmezí 30–40°. Varovným signálem ortodontistům je úhel větší 38°, kterým charakterizujeme velký úhel mandibulární linie neboli také vysoký úhel ML. Úhlem menším charakterizujeme skeletální hluboký skus. Vertikálními vztahy lze také určit zadní a přední výšku obličeje, která je poměrem těchto dvou hodnot. V případě přední výšky obličeje se jedná o vzdálenost bodů N a Me, zatímco zadní výška obličeje se určuje jako vzdálenost bodů G a S v milimetrech.

- **Sklon řezáků**

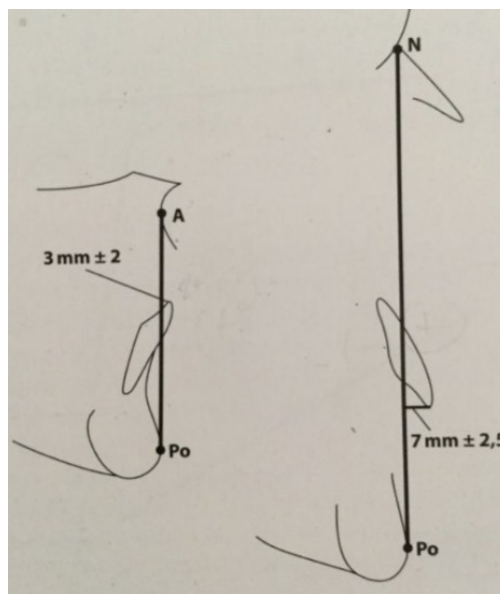
Sklon a polohu řezáků nazývanou též jako dentální rozměry určujeme dle sklonu horního a dolního řezáku. Po stanovení linie NS jsme schopni změřit úhel, který svírá osa horního řezáku s onou linií NS. Úhel svírající osu dolního řezáku s linií ML nazýváme sklonem dolního řezáku. Vzájemným sklonem obou sklonů řezáků získáme interinciziální úhel.



Obrázek 4.8 Přední výška a zadní výška obličejového skeletu [1]

- **Poloha řezáků**

Polohu horníku řezáků určíme vzdálenosti řezací hrany horního řezáků ke spojnici bodů N a Po, je udávána v milimetrech. Větším vzdálenostem jsou přiřazovány horní řezáky vyčnívající z čelisti. Diagnostikujeme jej v případě malé dolní čelisti s ustupující bradou, ventrální polohou horní čelisti či protruzí horních řezáků. Spojnice A a Po nám určuje společně s řezací hranou polohu dolního řezáku. Obvyklá hodnota polohy dolního řezáku je 3 mm před A-Po, směrodatná odchylka je 2 mm. Nejdůležitějším rozměrem celého kefalometrického snímku je poloha dolního řezáku, díky ní jsme schopni indikovat extrakci zubů.



Obrázek 4.9 Poloha řezáků [1]

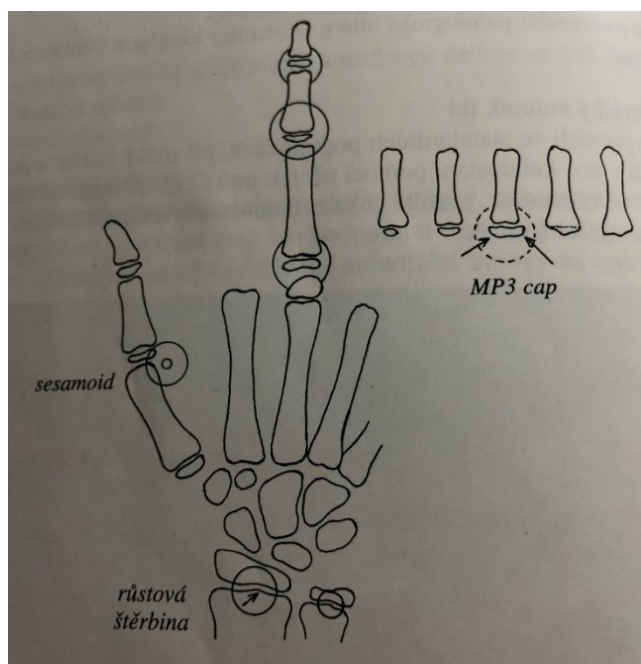
- **Měkké tkáně obličeje**

Ortodontická praxe vyžaduje relativní polohu rtů, která jako taková ovlivní léčbu nejvíce. Tzv. linie podle Rickettse (linie estetická) je nejpoužívanější pro proměření polohy rtů k oné estetické linii. Tato linie je stanovena jako tečna vzhledem k profilu nosu a brady. Průměrná vzdálenost dolního rtu k této linii by měla být 2 mm za ní a průměrná vzdálenost horního rtu je většinou větší. Pro polohu rtů je zapotřebí také stanovení již zmíněné polohy řezáků, retruzí horních řezáků se rty posunují dorzálně a protruzí dolních řezáku se rty posouvají ventrálně. Není to však pravidlem, pacientovi se silnějšími rty se poloha rtů vzhledem k poloze řezáků změní jen relativně méně.

4.5 Rentgenový snímek pravé ruky a zápěstí

Rentgenový snímek ruky se používá k určení skeletálního věku. K ortodontickým účelům se skeletální věk klasifikuje do několika jednoduše identifikovatelných stádií. Informují nás o relativním vztahu k pubertálnímu růstovému zrychlení a ukončení růstu. Vyšetření je prováděno v tu chvíli, kdy

je při ortodontické léčbě zapotřebí vědět čas maximálního růstového zrychlení a očekávaná intenzita růstu a ukončení růstu. Další důležitou funkcí při posouzení skeletálního věku je, pokud chceme vědět, jestli pacientovi zavedeme dentální implantáty či nikoliv. [1][3] [9]



Obrázek 4.10 Rentgenogram ruky v období puberty [3]

4.6 Fotografická dokumentace

Obsahem moderní ortodontické dokumentace jsou v neposlední řadě také fotografické snímky jednotlivých zubů, obličeje a chrupu v časové posloupnosti léčby. Pokud ortodontista léčbu teprve plánuje je zapotřebí vyhotovení fotografií pacienta v přímé projekci bez úsměvu a s úsměvem, v poloprofilu a v profilu a mimo jiné také fotografie s detailem na rty bez úsměvu a při širokém úsměvu. Fotografie zhotovená s úsměvem a bez slouží k posouzení vztahu zubů s okolními měkkými tkáněmi. Pokud indikujeme pacienta se skeletální vadou, poslouží nám již zmíněný kefalometrický rtg snímek a fotografie profilu pacienta k jejich překrytí, abychom správně naplánovali ortognátní operaci. [9] V příloze kazuistika 1, kazuistika 2 je názorná ukázka fotografické dokumentace a též kazuistiky dvou pacientů.

5 Praktická část

Praktická část mé bakalářské práce se zabývá vývojem softwaru pro kefalometrickou analýzu. Klinická data použitá při vývoji aplikace byla získána se souhlasem pacientů, v souvislosti s nařízením EU o ochraně údajů tzv. GDPR. Aplikace byla navržena dle konkrétních požadavků ortodontistů. Jsou v ní použity kefalometrické body, linie a úhly, které jsou z hlediska ortodontické praxe ty nejdůležitější. Mým prvotním úkolem bylo zjištění nejdůležitějších kefalometrických bodů, linií a úhlů z pohledu ortodontisty. Dalším zásadním úkolem bylo nastudování poloh kefalometrických bodů. Jelikož jsem zjistila důležité kefalometrické body, které jsem použila při vývoji, byla jsem již nadále schopna definovat vztahy mezi těmito body.

5.1 Lokace konkrétních kefalometrických bodů, linií a úhlů

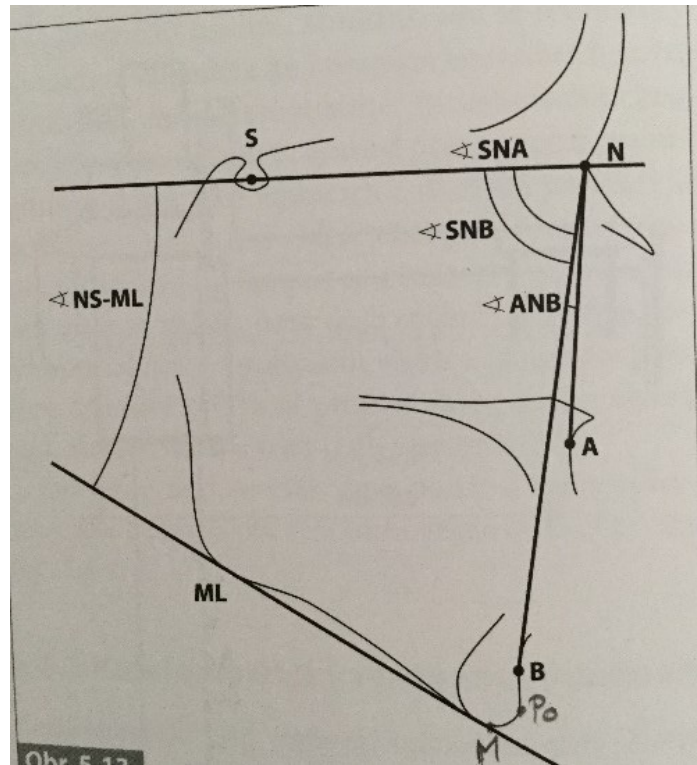
Dle požadavků konkrétní ortodontické praxe, pro kterou je tato aplikace primárně určena jsem v aplikaci použila ty parametry, které byly stanoveny jako zásadní při částečném zrychlení plánování léčby. V tabulce jsou přehledně vypsány kefalometrické body, vzdálenosti mezi těmito body a úhly, které jsou důležité.

Tabulka 5.1 *Kefalometrické parametry v aplikaci*

Kefalometrické body	Vzdálenost mezi body	Úhly
A	NS	ANB
B	ML	SNA
N	A-Po	NSML
S	N-Po	
M	A-Ao	
L	B-Bo	
Po		
Okluzní bod 1		
Okluzní bod 2		

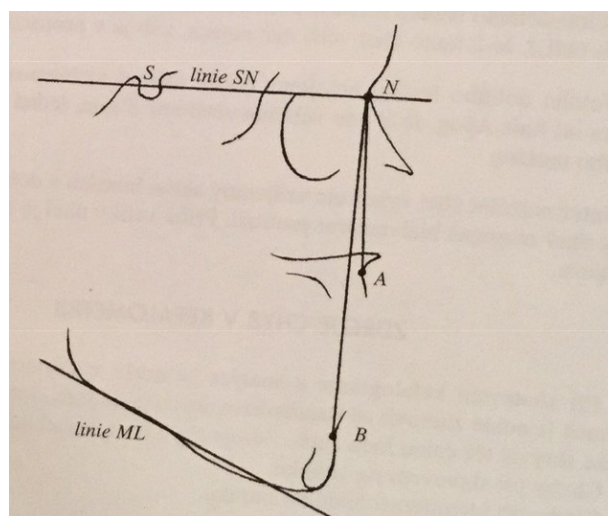
Pro větší popis úhlů zde přidávám jejich charakteristiku.

- ANB úhel – úhel klasifikující sagitální mezičelistní vztahy, hodnota vyšší než 5° charakterizuje skeletální třídu II. , hodnota menší než 1° představuje skeletální třídu III. , skeletální třídy již zmíněny v kapitole 3.1 [7] [3]
- SNA úhel – tímto úhlem ortodontista zjistí polohu horní čelisti vůči bazi lební [3]



Obrázek 5.1 Úhly použité v aplikaci [1]

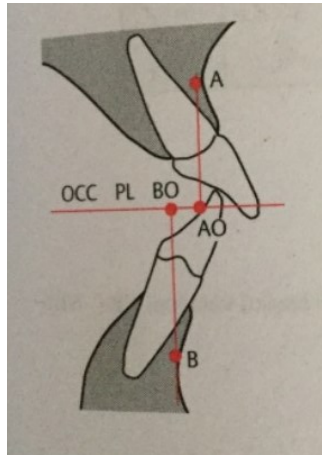
- NSML úhel – tímto úhlem lze zjistit růstovou rotaci dolní čelisti, jeho obvyklá hodnota je 32° , při zvětšení se jedná o posteriorotaci, při zmenšení o anteriorotaci [3]
- linie NS – nazývána také jako referenční rovina neboli baze lební, díky této rovině lze spolehlivě na snímku proměřovat ostatní úhly i poměry
- linie ML – charakterizuje nejspodnější bod symfýzy mandibuly a společně s tečnou ohraničí zadní část mandibuly [[3]



Obrázek 5.2 Linie NS, ML – vzdálenost v aplikaci [1]

- **WITS**

WITS analýza je důležitá ke zhodnocení mezičelistních vztahů, proto jsem ji v aplikaci také použila. V mé aplikaci bylo třeba zavést okluzní rovinu, která je klíčovým prvkem při výpočtu této analýzy. Okluzní rovinu jsem si definovala dvěma body. Následně jsem z bodu A spustila kolmici na okluzní rovinu a bodem dotyku se stal bod AO. Z bodu B jsem vztyčila kolmici na okluzní rovinu a bodem dotyku se tentokrát stal bod BO. Vypočtená vzdálenost mezi body AO a BO průměrně vychází nula. Tato vypočtená vzdálenost je hodnota WITS. [1][2]



Obrázek 5.3 *Wits analýza [2]*

6 Implementace analytické geometrie

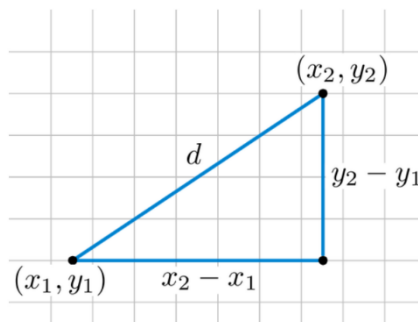
Analytická geometrie slouží k vyjádření geometrických útvarů pomocí čísel. Každému bodu jsou přiřazeny souřadnice, pomocí kterých lze vypočítat potřebné vzdálenosti a úhly. Problémy geometrie lze pak řešit analytickými metodami, tedy metodami algebry a takto obdržené výsledky poté interpretovat geometricky. V analytické geometrii jsou zavedeny pojmy afinní prostor značící se jako A_n a euklidovský prostor E_n . Afinní prostor, ve kterém se vektorové zaměření zabývá vektorovým prostorem se skalárním součinem nazýváme euklidovským prostorem. V mé práci se budu zabývat prostorem euklidovským, tedy dvourozměrným, E_2 a budu měřit vzdálenosti a odchylky. [19]

6.1 Měření vzdálenosti dvou bodů

Pro výpočet vzdálenosti dvou bodů, v mém případě zjištění vzdáleností bodů N-S, M-L, A-Po, N-Po, A-Ao, B-Bo, v dvourozměrném euklidovském prostoru jsem počítala na bázi Euklidovy metody, která vychází z Pythagorovy věty. Jelikož znám souřadnice každého bodu, zavedla jsem Euklidovskou vzdálenost, kterou jsem počítala dle známého vzorce, který jsem převedla do syntaxe MATLABu. Euklidovská vzdálenost dvou bodů je rovna délce úsečky mezi dvěma body.

Máme kartézskou soustavu souřadnic v euklidovském prostoru E_2 . Potom vzdálenost libovolných bodů X a Y , kde $[X] = [x_1, x_2]$ a $Y = [y_1, y_2]$ je tato vzdálenost dána vzorcem:

$$D(X, Y) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (6)$$



Obrázek 6.1 Euklidovská vzdálenost mezi dvěma body

Jakmile jsem měla určenou vzdálenost mezi dvěma body, byla jsem již dále schopna určit úhel SNA, ANB a NSML, funkce euklidovské vzdálenosti byla velice důležitou součástí práce, jelikož byla implementovaná pro výpočet úhlů SNA a ANB.

V matlabu zdefinování funkce distance, implementace rovnice 6.

```
function [distance] = Calculate_distance(points_coordinate) %
Function returns a distance between points [x_1, y_1; x_2,y_2]
points_coordinate = double(points_coordinate);
distance = sqrt((points_coordinate(1,1) - points_coordinate(2,1)).^2
+ (points_coordinate(1,2) - points_coordinate(2,2)).^2);
end
```

6.2 Výpočet úhlů SNA, ANB

Pro každý trojúhelník se stranami A, B a C, jehož vnitřní úhel proti straně BC má velikost α , platí vzorec:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \gamma \quad (7)$$

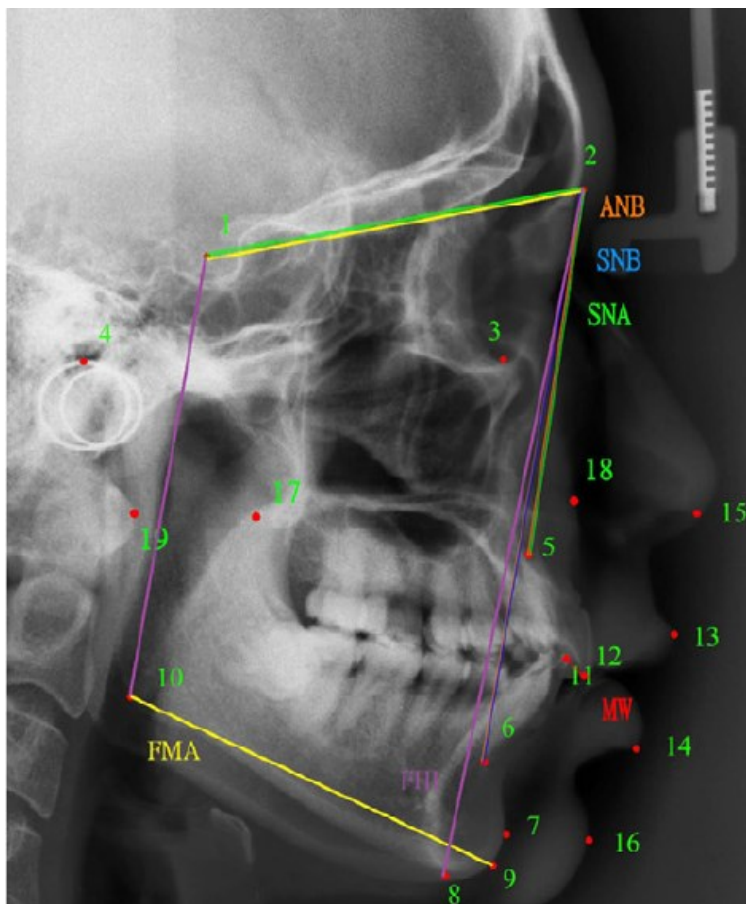
Pro trojúhelník se stranami a, b a c s úhlem naproti straně c platí vzorec:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma \quad (8)$$

Úhel ANB je definován třemi body, bodem A, bodem N, bodem B. Úhel SNA je definován třemi body, bodem S, bodem N, bodem A. V případě úhlu SNA bylo zapotřebí zjištění úhlu α , tedy úhlu naproti straně a implementace rovnice 7 do programu. Při výpočtu úhlu ANB jsem zjišťovala úhel γ , jež leží naproti straně c, implementovala jsem rovnici 8. V mém programu pro výpočet úhlů ANB a SNA bylo zapotřebí implementování kosinových vět a z nich vyplývající rovnic do syntaxe MATLABu:

```
úhel ANB = acosd((a.^2 + b.^2 - c.^2) / (2*a*b))
```

$$\text{úhel SNA} = \text{acosd}((b.^2 + c.^2 - a.^2) / (2*b*c))$$



Obrázek 6.2 Úhel SNA, ANB na snímku [25]

Kosinova věta

Kosinova věta platí pro každý trojúhelník ABC, který má strany a, b, c. Proti těmto stranám se nachází vnitřní úhly trojúhelníku, tedy úhel α , úhel β , úhel γ . [27]

„Čtverec délky strany trojúhelníku je roven součtu čtverců délek zbývajících stran zmenšenému o dvojnásobek součinu délek těchto stran a kosinu úhlu jimi sevřeného.“ [27]

Pythagorova věta platí pro trojúhelník, jehož alespoň jeden úhel má 90° .

Pokud $\gamma = 90^\circ$

Pak platí že: $2ab \cos 90^\circ = 0$

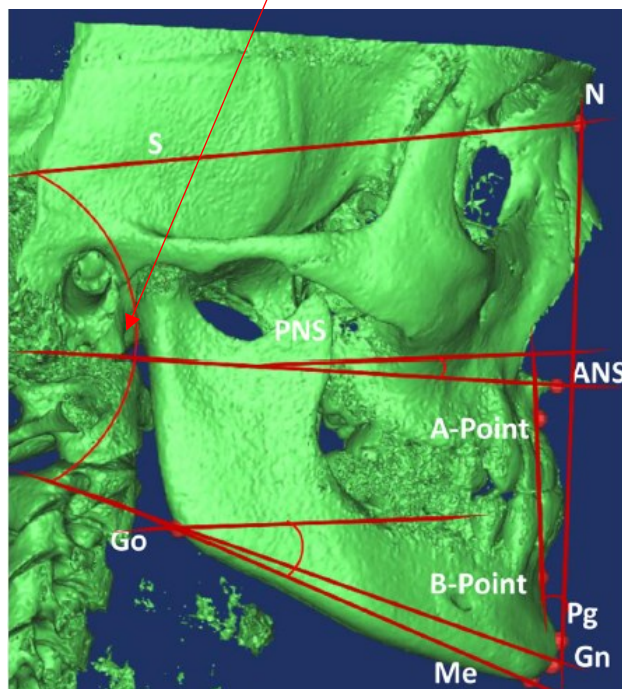
Pythagorova věta zní:

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (9)$$

6.3 Výpočet úhlu NSML

Úhel NSML je úhel mezi dvěma liniemi, tedy linií NS a linií ML. Pro výpočet úhlu NSML bylo zapotřebí definovat odchylku (stručný úhel θ) dvou nenulových vektorů vzorcem:

$$\cos \theta = \frac{u \cdot v}{\|u\| \cdot \|v\|} \quad (10)$$

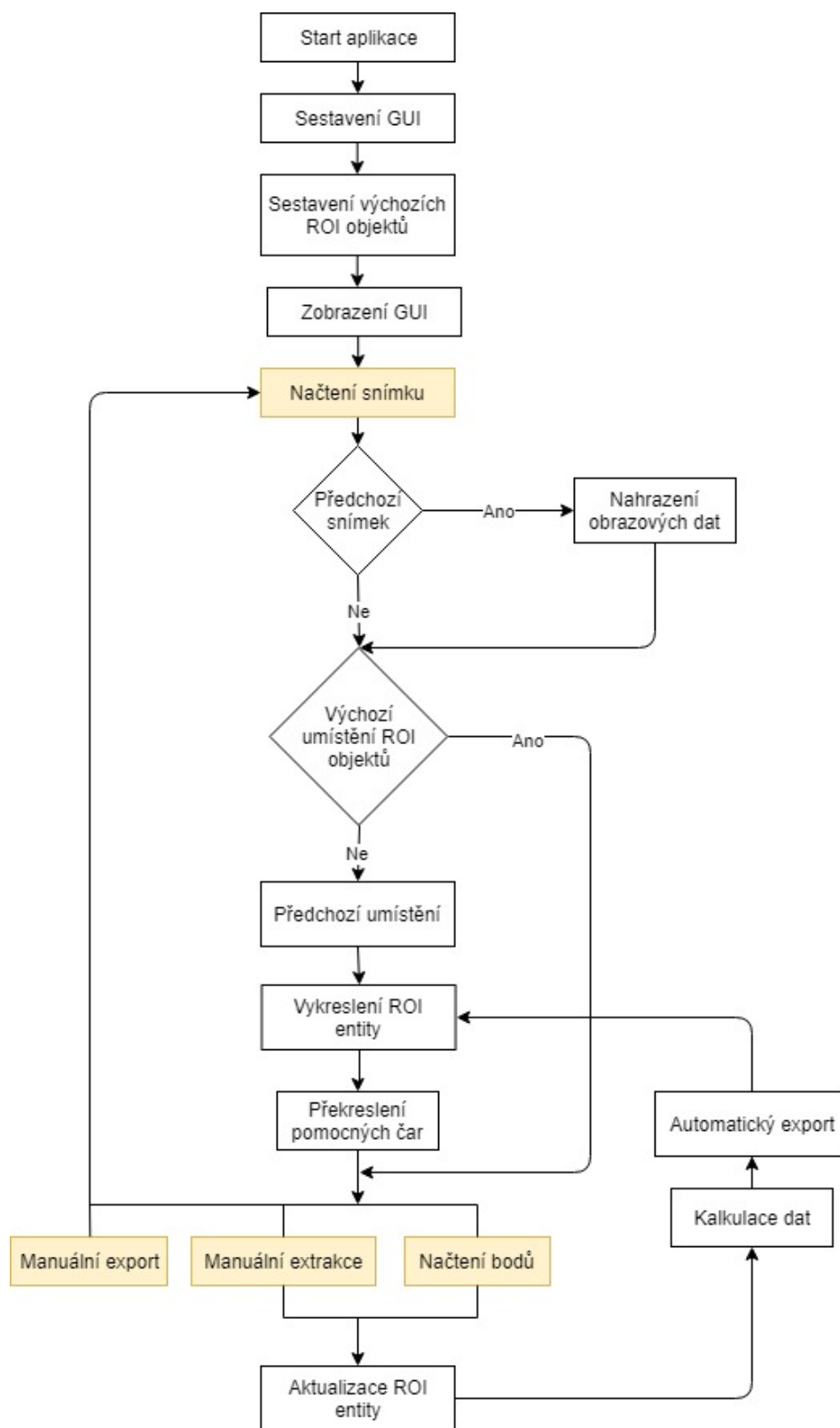


Obrázek 6.3 Úhel NSML [26]

Převod do syntaxe MATLABu:

```
úhel NSML = acosd((u*v') / (norm(u)*norm(v)))
```

6.4 Vývojový diagram aplikace



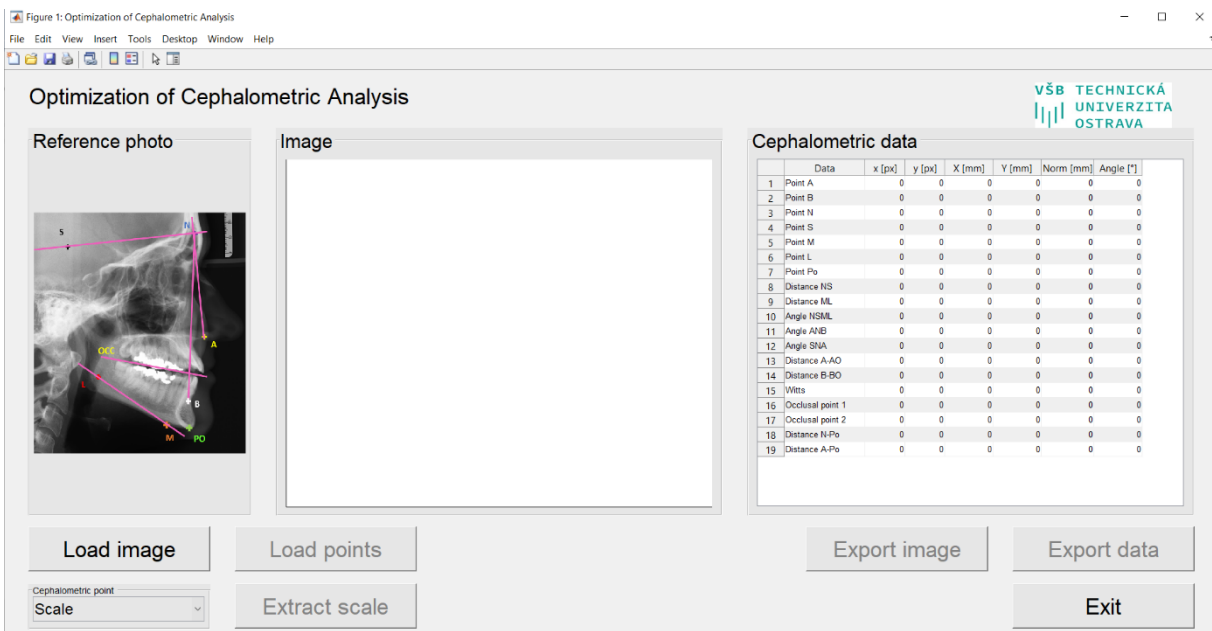
Obrázek 6.4 Vývojový diagram aplikace

7 Návrh uživatelského rozhraní

V předchozích kapitolách jsem popisovala kefalometrické body, linie, úhly a vzdálenosti mezi jednotlivými body a také algoritmus použitý pro analýzu bodů, aby bylo možno vše následně implementovat do programu. V této podkapitole detailněji popsáno uživatelské rozhraní GUI (Graphical User Interface) a jeho jednotlivé implementované části. Celá aplikace je vytvořena v prostředí Matlab R2018b. Cílem bylo vytvořit uživatelsky přívětivé a lehce ovladatelné prostředí pro extrakci kefalometrických bodů, extrakci okluzní roviny a následný automatický výpočet kefalometrické analýzy do přehledné tabulky. Pro iniciaci GUI je zapotřebí souboru s názvem findjob, který zajistí přidání přidavných funkcí do levého panelu, ve kterém se zobrazuje načtený snímek. Z vývojového diagramu je již patrné vnitřní fungování aplikace. Oranžově vyznačeny kroky v diagramu jsou události, které manuálně provádí uživatel.

7.1 Prvotní spuštění

Po spuštění GUI se uživateli zobrazí přehledné rozhraní „*Optimization of Cephalometric analysis*“. Toto rozhraní je složeno z okna zobrazující referenční obrázek, jež je průvodcem uživateli, které body lze na snímku zadat a následně analyzovat. Dále obsahuje okno s názvem image a tabulku s analyzovanými kefalometrickými daty a několik tlačítek, které budou popsány níže. Vše je navrženo tak, aby uživatel nebyl schopný provést operaci, která by zapříčinila špatný následek. Tedy vede uživatele krok po kroku a s každým stiskem ovládacího prvku je mu zobrazena nová možnost. V levém panelu Image bude uživateli zobrazován jeho nahraný snímek s vymezenými kefalometrickými body a okluzní rovinou. V pravé části rozhraní se nachází přehledná tabulka nazvána Cephalometric data, která obsahuje 19 důležitých parametrů pro správný výpočet všech dat. V této části běhu programu je uživateli umožněna zatím pouze volba snímku tlačítkem Load image. Po načtení snímku budou uživateli umožněny další výběry.



Obrázek 7.1 Návrh uživatelského rozhraní *Optimization of Cephalometric analysis*

7.2 Tabulka s kefalometrickými daty

Tabulka, která se nachází v pravé části rozhraní byla navržena tak, aby bylo možno vypočítat námi vybrané geometrické parametry dle ortodontické praxe. Sloupec data obsahuje všechny důležité kefalometrické body, pomocí kterých můžeme vypočítat již zmíněné geometrické parametry, těmi body jsou bod A, bod B, bod N, bod S, bod M, bod L, bod Po. V tabulce je jejich umístění důležité z hlediska toho, že při každém posunu bodu dochází k přepočítávání jejich polohy v souřadnicovém systému, která sehrála klíčovou roli při výpočtu úhlů, vzdáleností a WITS analýzy. Dalším důležitým parametrem je také vzdálenost dvou bodů, v programu nazvána jako distance. Sloupce s názvem x a y nesoucí hodnotu px vyjadřují polohu bodu v pixelech. Sloupce pojmenovány jako X a Y vyjadřují tu samou polohu bodu jako x a y, ovšem jsou již přepočtená z pixelů na milimetry. Sloupec Norm obsahuje vypočtené Euklidovské vzdálenosti mezi dvěma body. Sloupec Angle nám zobrazí 3 řádky u dat Angle NSML, Angle ANB, Angle SNA, jelikož chceme zobrazit pouze vypočtenou hodnotu úhlů.

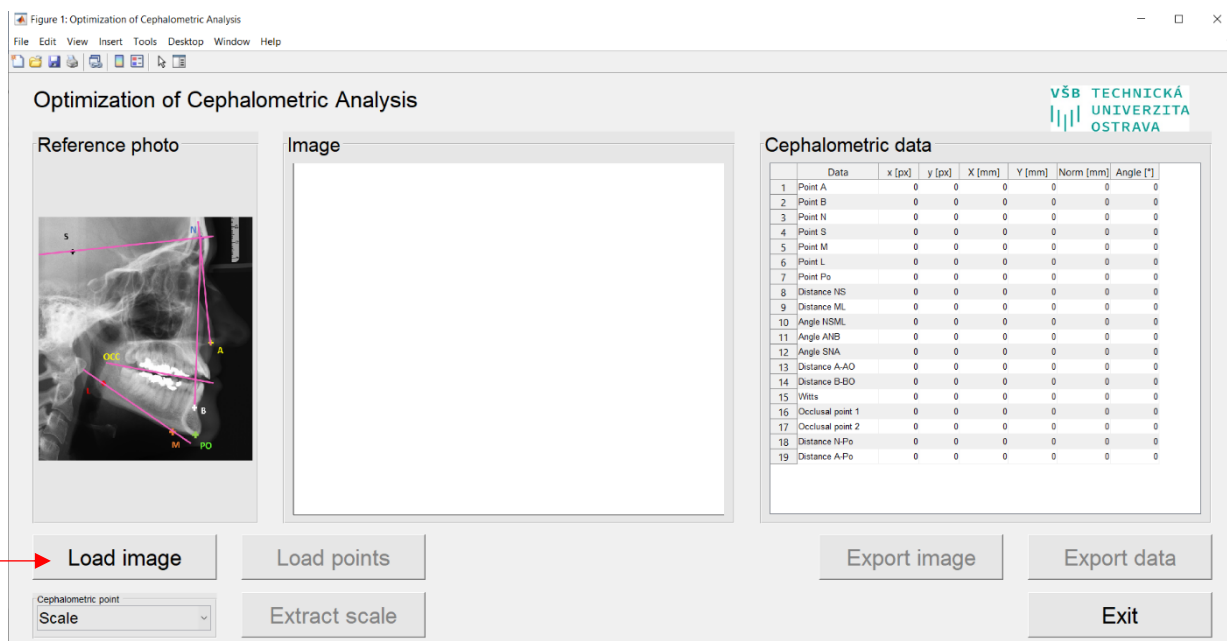
Cephalometric data							
	Data	x [px]	y [px]	X [mm]	Y [mm]	Norm [mm]	Angle [°]
1	Point A	0	0	0	0	0	0
2	Point B	0	0	0	0	0	0
3	Point N	0	0	0	0	0	0
4	Point S	0	0	0	0	0	0
5	Point M	0	0	0	0	0	0
6	Point L	0	0	0	0	0	0
7	Point Po	0	0	0	0	0	0
8	Distance NS	0	0	0	0	0	0
9	Distance ML	0	0	0	0	0	0
10	Angle NSML	0	0	0	0	0	0
11	Angle ANB	0	0	0	0	0	0
12	Angle SNA	0	0	0	0	0	0
13	Distance A-AO	0	0	0	0	0	0
14	Distance B-BO	0	0	0	0	0	0
15	Witts	0	0	0	0	0	0
16	Occlusal point 1	0	0	0	0	0	0
17	Occlusal point 2	0	0	0	0	0	0
18	Distance N-Po	0	0	0	0	0	0
19	Distance A-Po	0	0	0	0	0	0

Obrázek 7.2 Tabulka s kefalometrickými daty

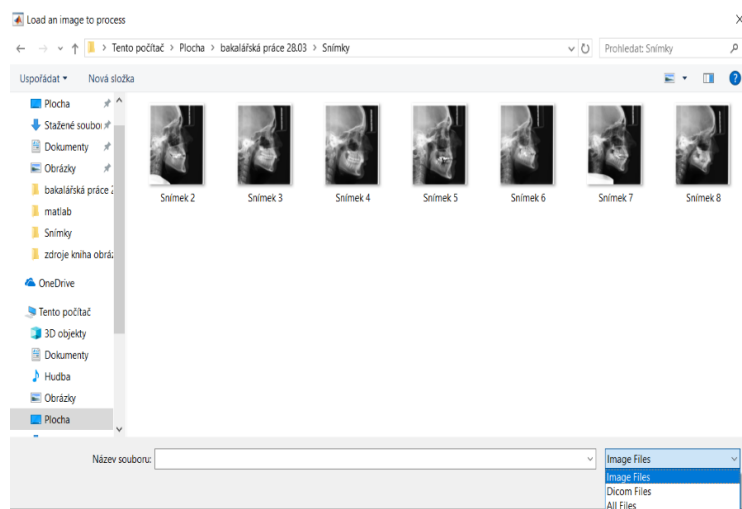
7.3 Základní části aplikace a jejich popis

- Nahrání snímku, tlačítko Load image

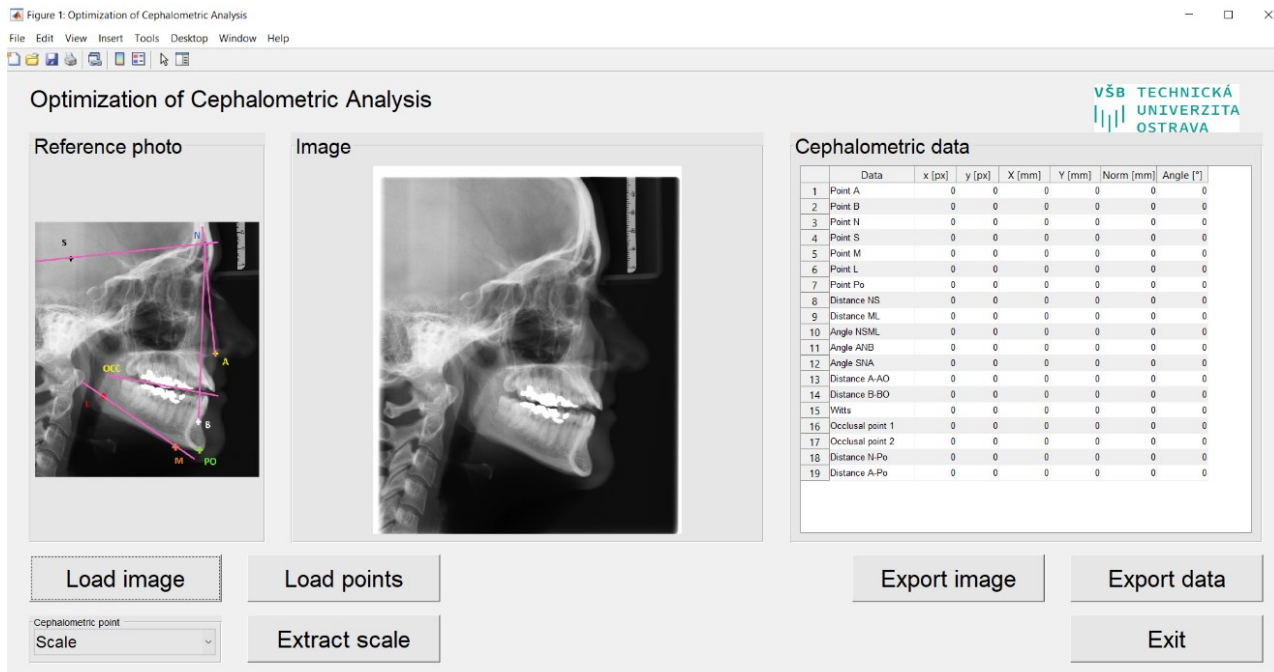
Uživatel má již aplikaci spuštěnou a jeho prvotním úkolem je nahrát snímek. Nahrání snímku provedeme volbou Load image, která slouží k otevření dialogového okna s možností načtení snímku z libovolného adresáře nacházejícího se v počítači. Primárně lze načíst snímky formátu .jpg, avšak za pomoci rolovací lišty lze zvolit snímek formátu DICOM a s volbou All files lze načíst snímky libovolného formátu. Po volbě načíst snímek se daný snímek načte v levém panelu s názvem Image.



Obrázek 7.3 Načtení snímku, Volba Load image



Obrázek 7.4 Volba formátu snímku



Obrázek 7.5 Načtený rtg snímek

Jakmile je snímek v levém panelu načten, je možno se snímek vykonávat jednotlivé doplňující operace. Těmi operacemi jsou lupa, která umožní uživateli oddálení či přiblížení snímku, ikona ruky, která umožní snímek zachytit a pohybovat se snímek při přiblížení či oddálení a další funkcí je ikona domů, která je potřebná, pokud chceme rychle snímek vrátit do jeho výchozího stavu.

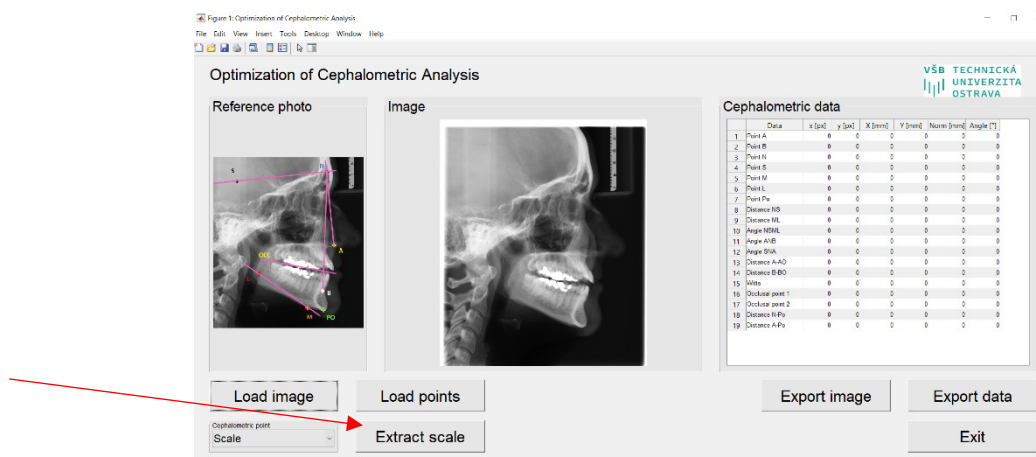


Obrázek 7.6 Doplňující prvky

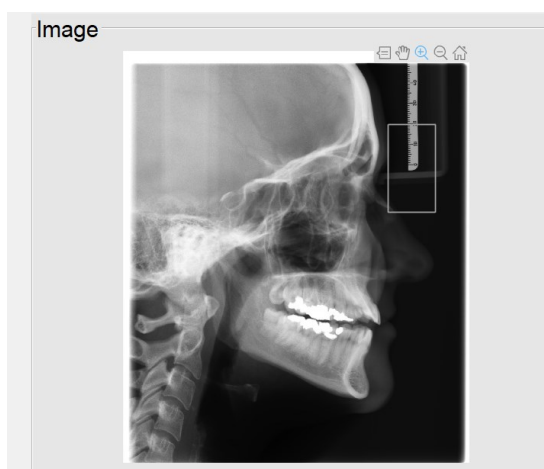
Po provedení volby snímku je umožněna uživateli volba tlačítka Load points a volba tlačítka Extract Scale. Volba Load points bude vysvětlena později, jelikož slouží pro porovnání snímků před a po léčbě, je zapotřebí tedy prvotní zadání kefalometrických bodů do snímku.

- **Měřítka, tlačítka Extract Scale**

Pomocí funkce lupy je zapotřebí v této části běhu programu provést extrakci měřítka 10 mm. Funkcí přiblížení si uživatel přiblíží pravítko nacházející se vpravo nahoře vedle snímku. Stisknutím tlačítka Extract Scale je možno na snímku vytvořit přímku, která musí mít velikost 10 mm. Tato volba extract scale je důležitá pro přepočítání pixelů na mm. Chceme vědět kolik pixelů = 1 mm. Jakmile si uživatel funkcí lupa přiblíží pravítko, musí si zde zadat přesný parametr 10 mm. Tato funkce je klíčová při přepočtu pixelů na mm. Každý kefalometrický snímek z jakéhokoliv přístroje obsahuje toto pravítko, a proto se stal přepočítání pixelů na mm klíčovým v mé aplikaci díky použitému pravítku ve snímku. Jakmile uživatel provede toto změření, program povolí vykonat další volbu, kterou je extrakce kefalometrických bodů. Z tohoto stavu přiblížení se může uživatel rychle vrátit do výchozího stavu snímku za pomoci již zmíněné ikony domečku, aby byla analýza co nejrychlejší. Lze tento výchozí stav doladit také pomalejší funkcí lupa.



Obrázek 7.7 Volba extrakce měřítka



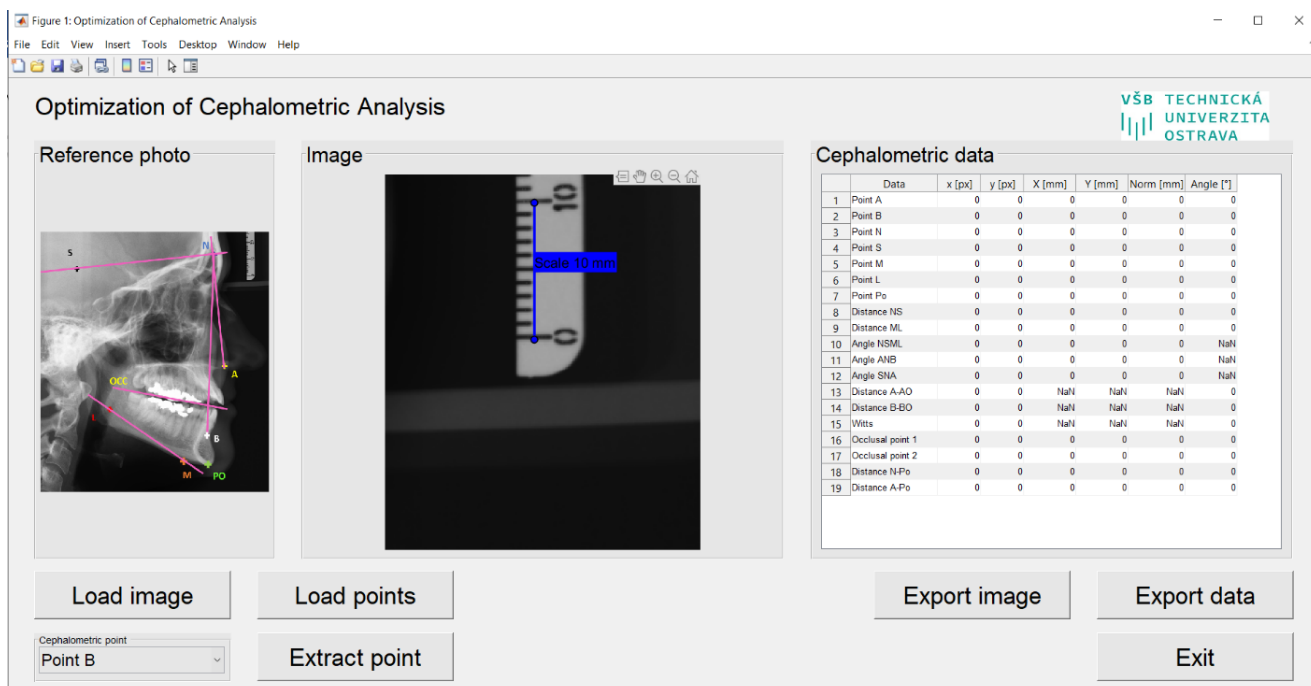
Obrázek 7.8 Funkce lupy



Obrázek 7.9 Pravítko na snímku

Syntaxe měřítka v MATLABu:

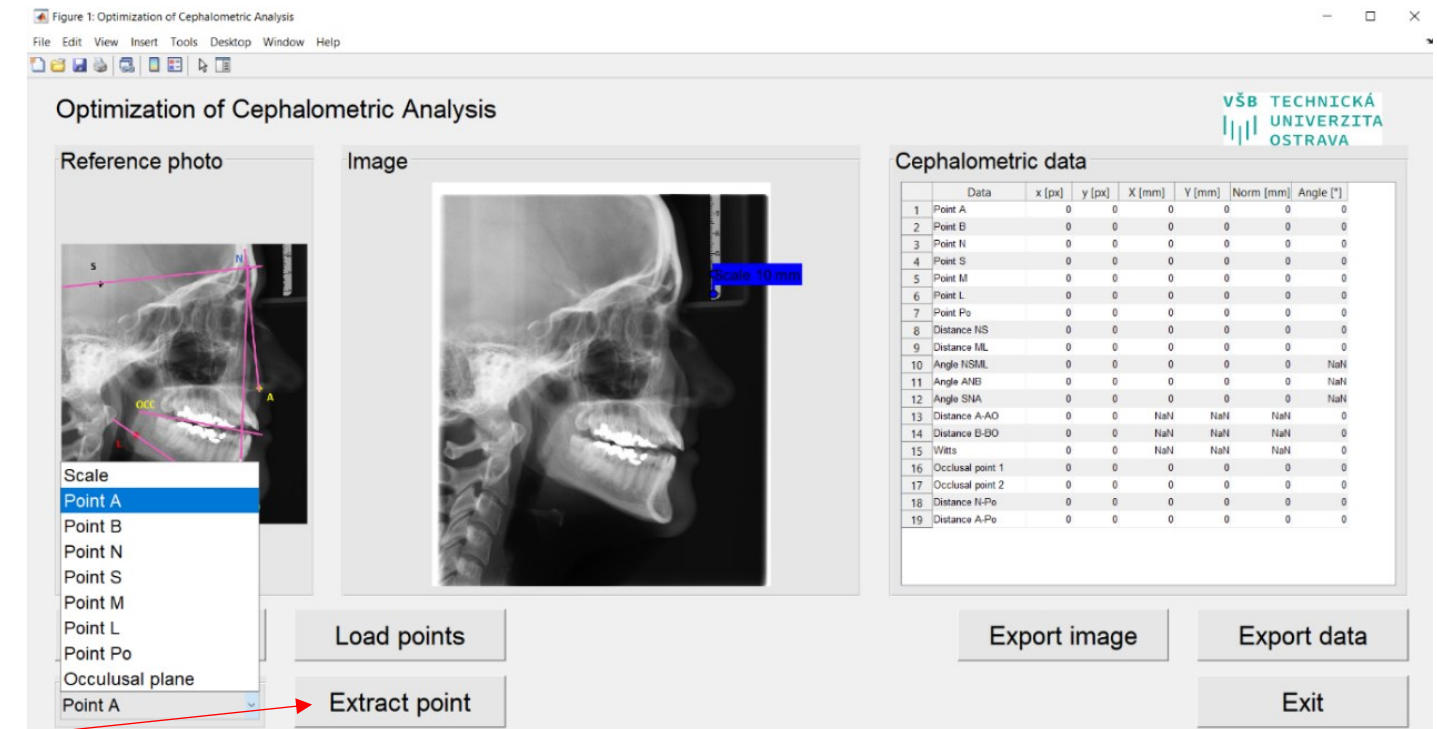
```
function [px_scale] = Calculate_scale(line)% Function returns a  
scale of 1 px in mm.  
  
points = line.Position;  
  
px_scale = Calculate_distance(points)/10; % 10 because user shows 10  
mm in picture.  
  
end
```



Obrázek 7.10 Měřítka 10 mm

- **Extrakce kefalometrických bodů, tlačítko Extract point**

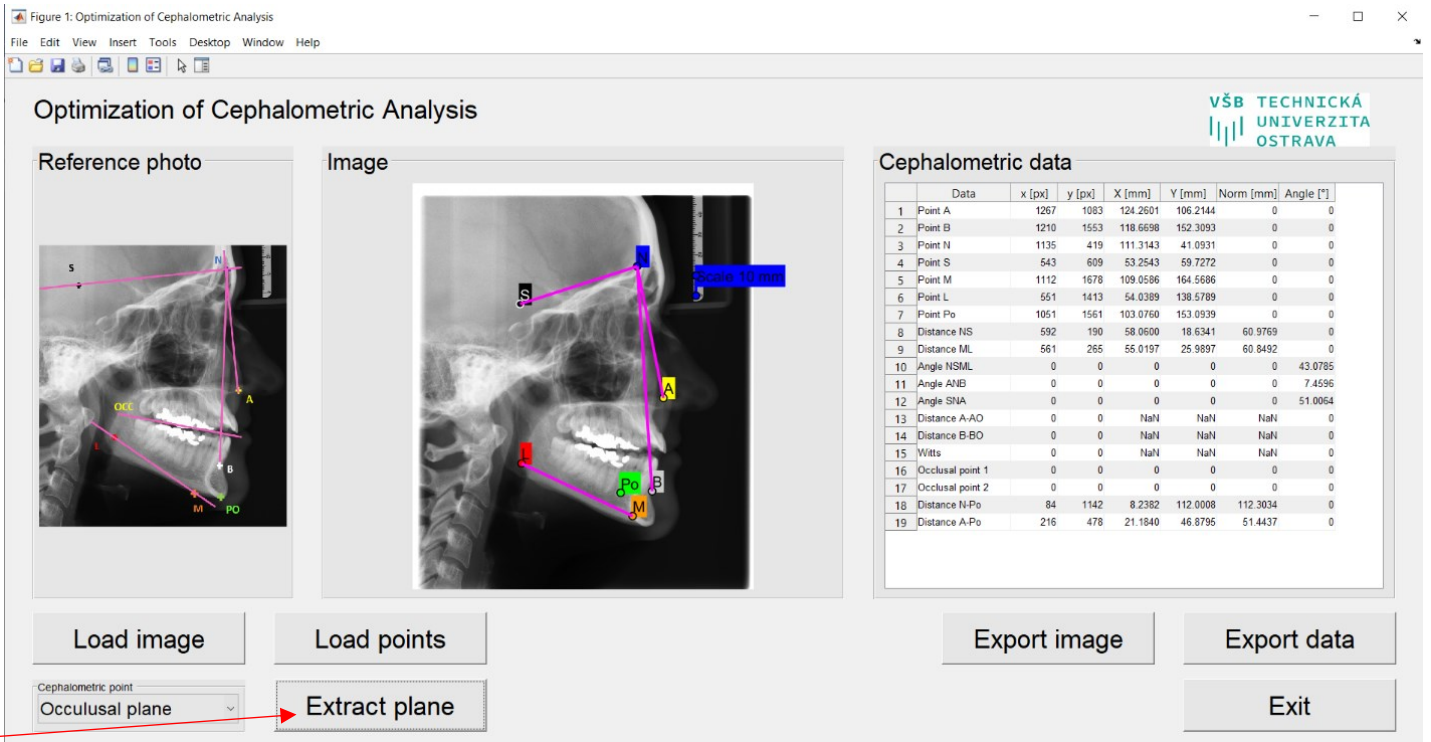
Po správném vykonání volby SCALE je umožněno uživateli již provést volbu Extract point, která se sama změnila po vykonání volby extract scale. Touto volbou si uživatel jednoduše, přehledně a rychle sám umísťuje na kefalometrický snímek kefalometrické body. Body jsou přehledně a výrazně popsány svými zkratkami dle názvosloví příslušnou barvou, která je vyobrazena na referenčním obrázku. S umístěnými body na snímku lze pohybovat. Tímto pohybem automaticky mění uživatel polohu bodu, která se automaticky mění i v tabulce a tabulka se automaticky dle souřadnic přepočítává z pixelu na mm.



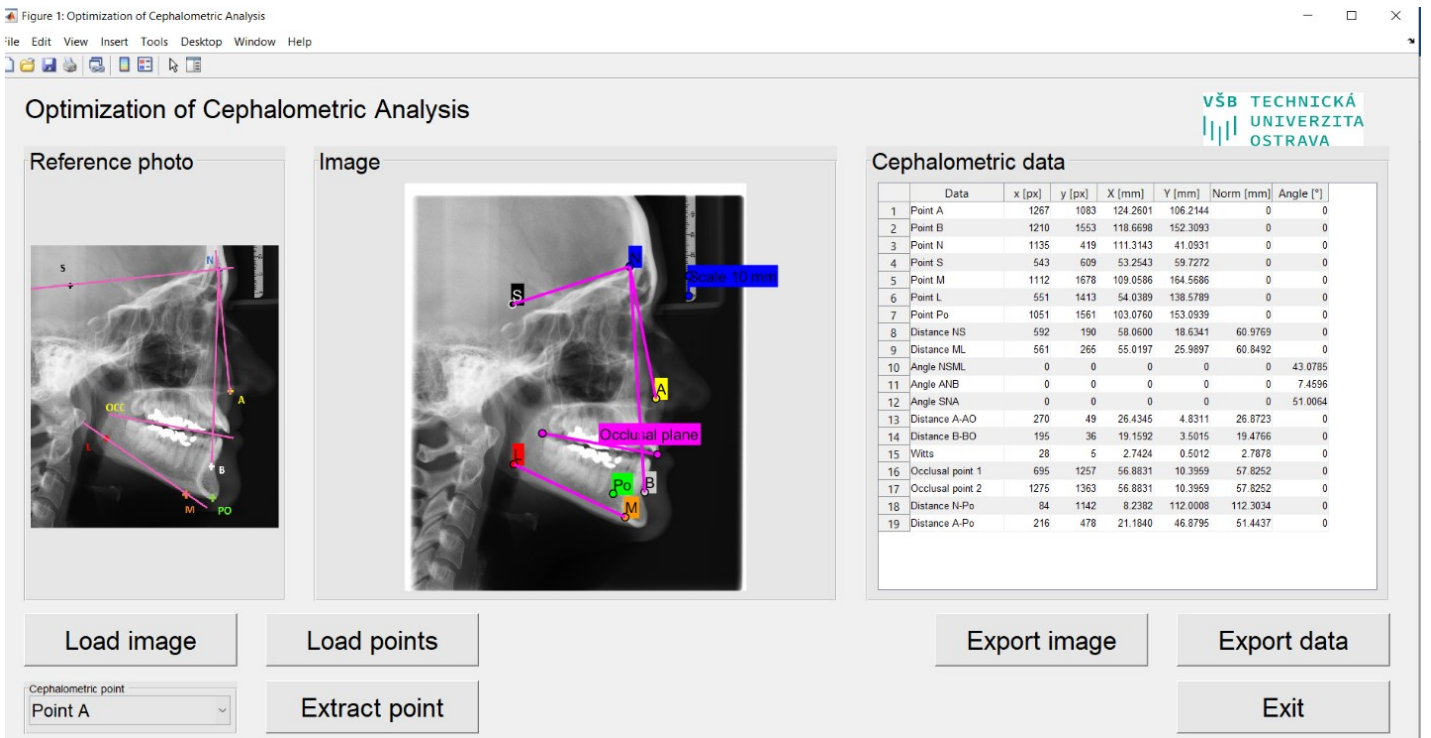
Obrázek 7.11 Extrakce bodů

- **Volba extrakce okluzní roviny, tlačítko extract plane**

Po umístění všech kefalometrických bodů na snímek je uživateli zobrazena automaticky volba Extract plane, tedy extrakce okluzní roviny zobrazeno v pop up menu v GUI nazvána jako Occlusal plane neboli okluzní rovina. Zadání okluzní roviny je klíčovou funkcí pro výpočet analýzy WITS. Při této volbě si uživatel sám zadá do snímku okluzní rovinu, která je ohraničena dvěma body. Po zadání této okluzní roviny již v tabulce vidíme vypočtenou i hodnotu WITS, vidíme přehledně i souřadnice bodu AO, BO a také euklidovskou vzdálenost bodů A – AO, B – BO. Pokud jsou již body i okluzní rovina umístěny na snímku, uživatel s nimi může pohybovat a přemísťovat podle potřeby. Tabulka přepočítává automaticky polohu bodů a tím dochází k přepočtu vzdáleností, úhlů a hodnoty Wits.



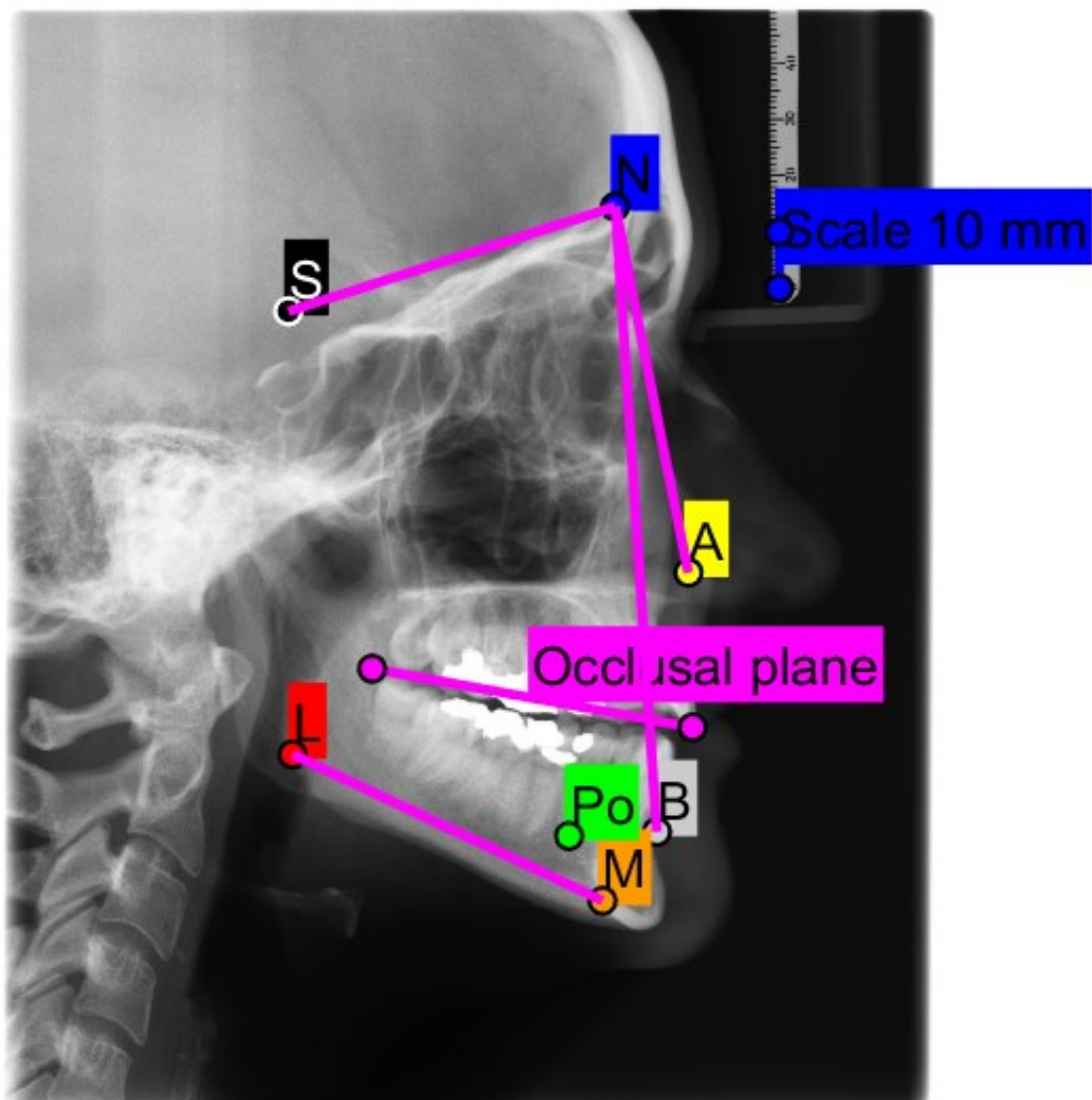
Obrázek 7.12 Extrakce okluzní roviny



Obrázek 7.13 Extrakce bodů a okluzní roviny

- **Export snímku, tlačítko Export image**

Po extrakci všech kefalometrických bodů a extrakci okluzní roviny může uživatel takto analyzovaný snímek uložit ve formátu .png. Tato volba je umožněna stisknutím tlačítka Export image, která zapříčiní uložení snímku do počítače.



Obrázek 7.14 Exportovaný PNG snímek

- **Export kefalometrických dat, tlačítko Export data**

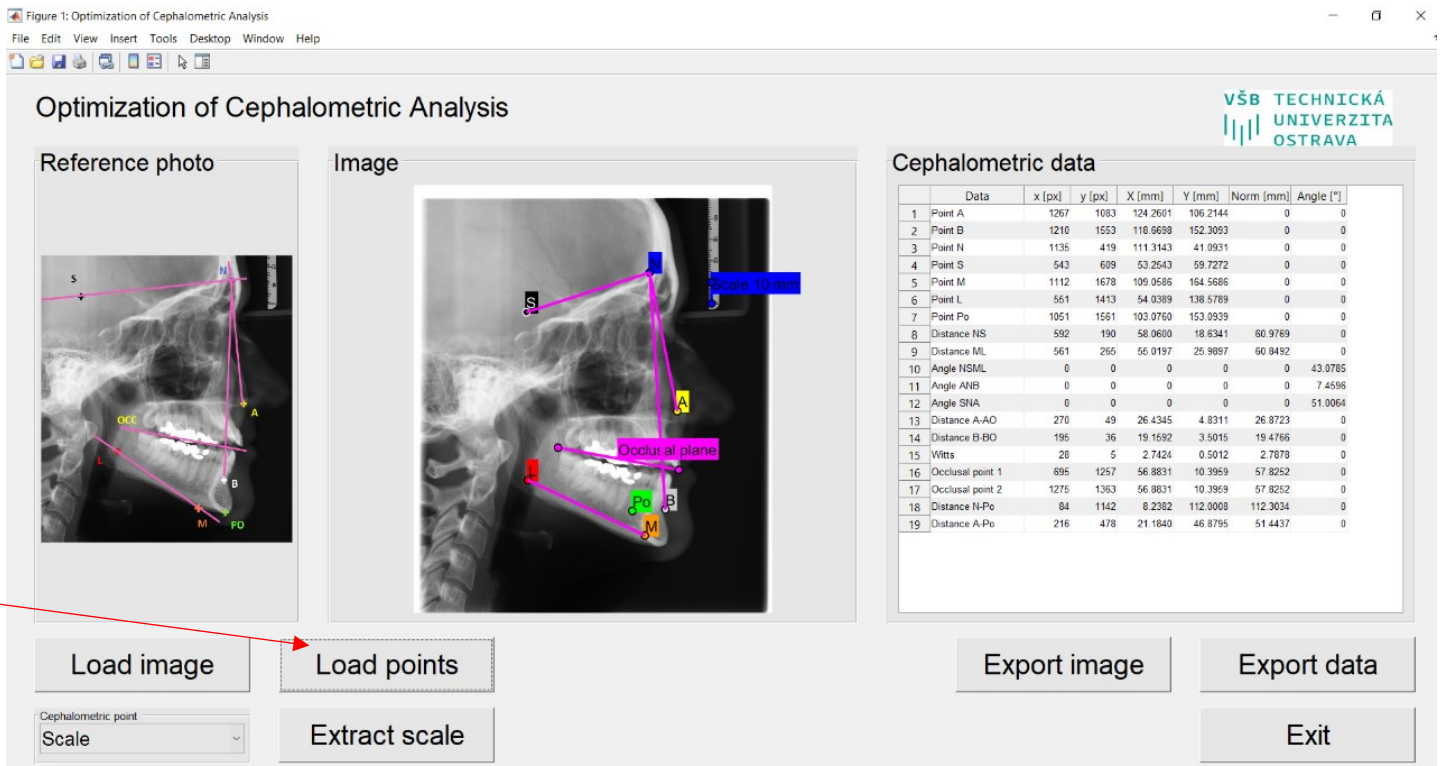
Po extrakci všech kefalometrických bodů a extrakci okluzní roviny lze hodnoty v tabulce exportovat volbou Export data do formátu souboru s názvem daného snímku Názevsnímku.xlsx. Export dat je umožněn jen při zadání všech potřebných parametrů pro výpočet celé tabulky. Takto vypočtená tabulka je následně uložena ve složce, ve které se nachází GUI.m. Takto uložený formát souboru je spustitelný v tabulkovém procesoru Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Var1_1	Var1_2	Var1_3	Var1_4	Var1_5	Var1_6	Var1_7									
2	Point A	1267	1083	124,2600694	106,2144081	0	0									
3	Point B	1210	1553	118,6698374	152,3093036	0	0									
4	Point N	1135	419	111,3142689	41,09310897	0	0									
5	Point S	543	609	53,25431544	59,72721566	0	0									
6	Point M	1112	1678	109,0585613	164,5685844	0	0									
7	Point L	551	1413	54,03890941	138,5789092	0	0									
8	Point Po	1051	1561	103,0760323	153,0938976	0	0									
9	Distance NS	592	190	58,05995348	18,63410669	60,97694754	0									
10	Distance ML	561	265	55,01965187	25,98967512	60,84920135	0									
11	Angle NSML	0	0	0	0	0	43,07850336									
12	Angle ANB	0	0	0	0	0	7,459648414									
13	Angle SNA	0	0	0	0	0	51,00643615									
14	Distance A-AO	270	49	26,43446743	4,831126806	26,87230646	0									
15	Distance B-BO	195	36	19,15922917	3,501514297	19,47656707	0									
16	Witts	28	5	2,742409095	0,501198904	2,78783213	0									
17	Occlusal point 1	695	1257	56,88306253	10,39587005	57,82522734	0									
18	Occlusal point 2	1275	1363	56,88306253	10,39587005	57,82522734	0									
19	Distance N-Po	84	1142	8,238236643	112,0007886	112,3033624	0									
20	Distance A-Po	216	478	21,18403708	46,87948947	51,44365811	0									
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																

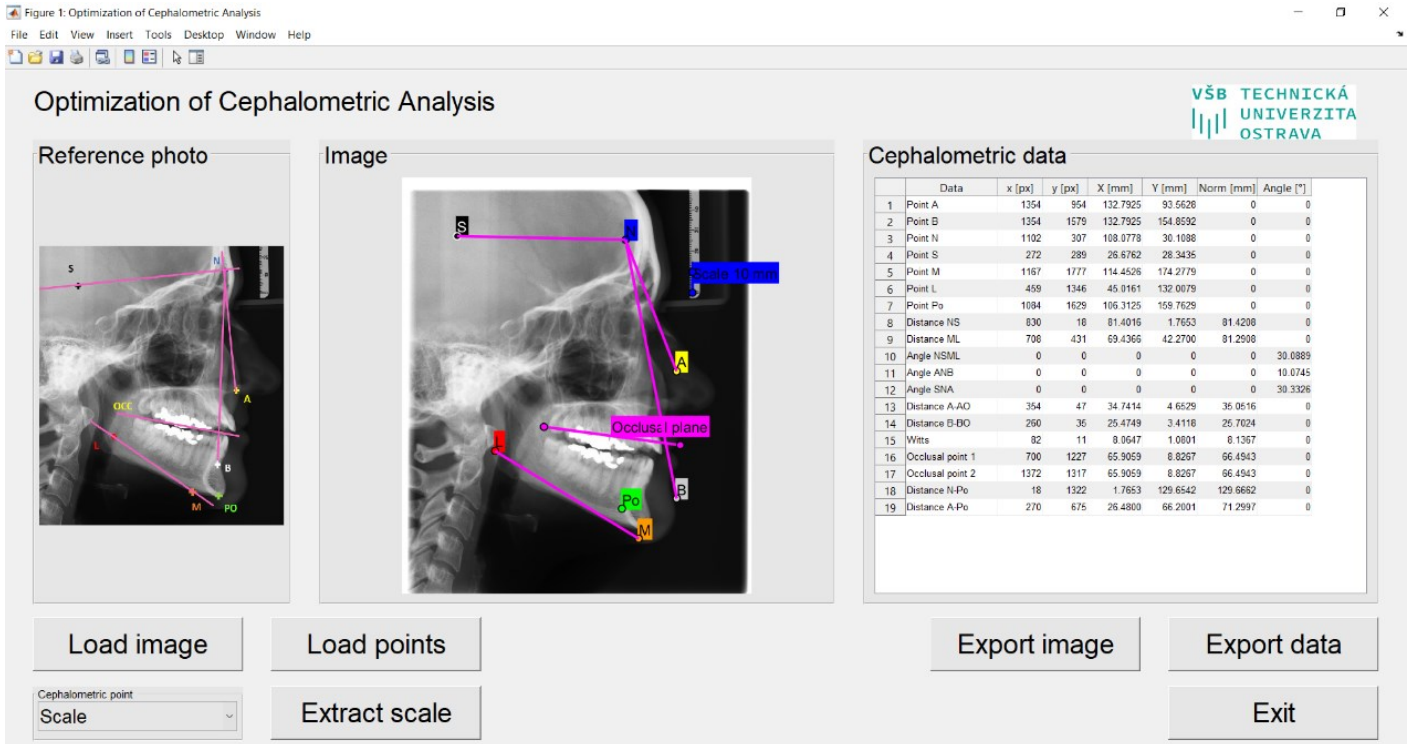
Obrázek 7.15 Exportovaný soubor .xlsx

- **Subtrakce, tlačítko Load points**

Pokud uživatel analyzoval snímek pacienta, následně jej uložil volbou export image, export data, může se nadále ke snímku po nějaké době vrátit z důvodu porovnání pacientova stavu před a po léčbou. Aplikace analyzovaná data z původního souboru ukládala sama do počítače, soubor je ve formátu .mat. Pokud uživatel načte nový snímek od stejného pacienta, následně provede volbu Load points, jsou mu automaticky nahrána všechna data jak do snímku, tak do tabulky z původního snímku. Tato volba je důležitá z hlediska porovnání stavu před a po léčbou. Pacientova data jsou uložena v .mat souboru pod názvem daného snímku, znovunačtení dat z kteréhokoliv souboru je umožněno tlačítkem Load points, kdy si uživatel vybere soubor, který chce do snímku načíst. Pokud uživatel pojmenuje pacientův snímek stejně před a po léčbou, po volbě Load points již nevybírám uživatel soubor z počítače, ale aplikace sama vyhledá v počítači soubor s názvem pacientových dat.



Obrázek 7.16 Volba Load points, nahrání bodů



Obrázek 7.17 Nové hodnoty na novém snímku, přepis původních

8 Testování navrženého systému

Testování aplikace Optimization of Cephalometric analysis proběhlo na ortodontickém pracovišti. Pro celkové testování aplikace bylo vybráno 37 pacientů z toho 29 žen a 8 mužů, jimž byl zhotoven kefalometrický dálkový snímek a snímek OPG, každému subjektu byl přiřazen kód dle pohlaví a jeho pořadové číslo. V příloze tabulka subjektů použitých v práci naleznete pacienty rozčleněné dle příslušného kódu. Dále jsou v této tabulce uvedeny údaje o dávce záření, době expozice záření, napětí, proudu a v neposlední řadě je zde uveden i věk subjektů. Z těchto 37 subjektů bylo náhodně vybráno 7 subjektů, ženy s kódem F26, F27, F28, F29 a muži s kódem M04, M06, M07. Tyto snímky byly testovány a porovnávány mezi aplikací a ručním měřením kefalometrického snímku.

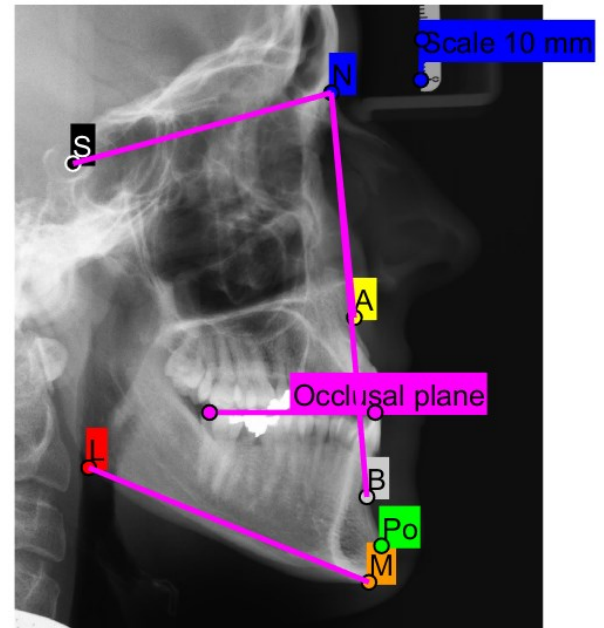
8.1 Komparace manuální a programové kefalometrické analýzy

Srovnání manuálního měření a softwarového proběhlo následovně. Kefalometrický snímek každého subjektu byl nejprve analyzován za pomoci manuální analýzy klinickým expertem a tyto hodnoty byly stanoveny jako zlatý standard. Ke stanovení zlatého standardu každého parametru bylo zapotřebí úhломěru a pravítka s ryskou, už tady klinický expert pocíťoval značný časový diskomfort při měření. Poté byly tyto kefalometrické snímky analyzovány pomocí aplikace, což značně ulehčilo práci, a ušetřilo potřebný čas v ortodontické praxi. Následně byly kefalometrické hodnoty softwarového měření porovnány se zlatým standardem. Tedy hodnoty zlatého standardu každého snímku byly vepsány do připravené tabulky a hodnoty ze softwarové měření byly k dispozici v uloženém souboru v počítači. Testování aplikace bylo zásadní pro porovnání s manuálním měřením, abychom zjistili přesnost a rychlost použití.

- Komparace zlatého standardu a softwaru

Tabulka 8.1 F26 Srovnání analýz

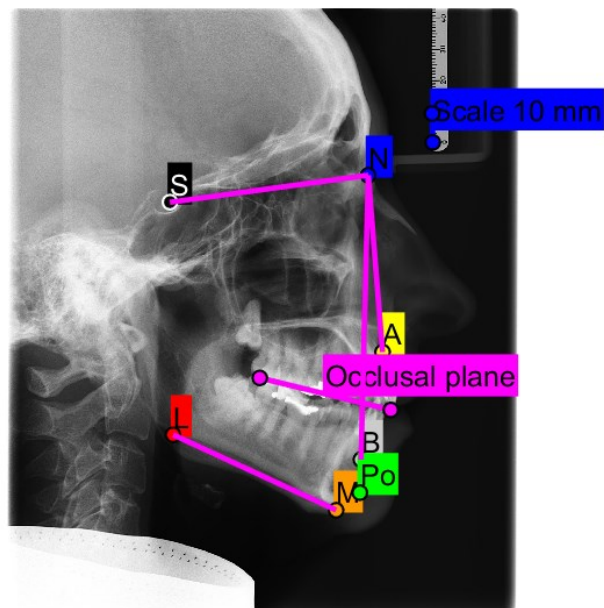
F26	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	65	66,03
Vzdálenost ML [mm]	74	74,54
Úhel NSML [°]	37	37,59
Úhel ANB [°]	0,5	0,78
Úhel SNA [°]	81	81,37
Vzdálenost A-AO [mm]	22	23,4
Vzdálenost B-BO [mm]	20	20,79
WITS [mm]	3	3,11
Vzdálenost A-Po [mm]	56	56,64
Vzdálenost N-Po [mm]	110	112,36



Obrázek 8.1 F26 Snímek z aplikace

Tabulka 8.2 F27 Srovnání analýz

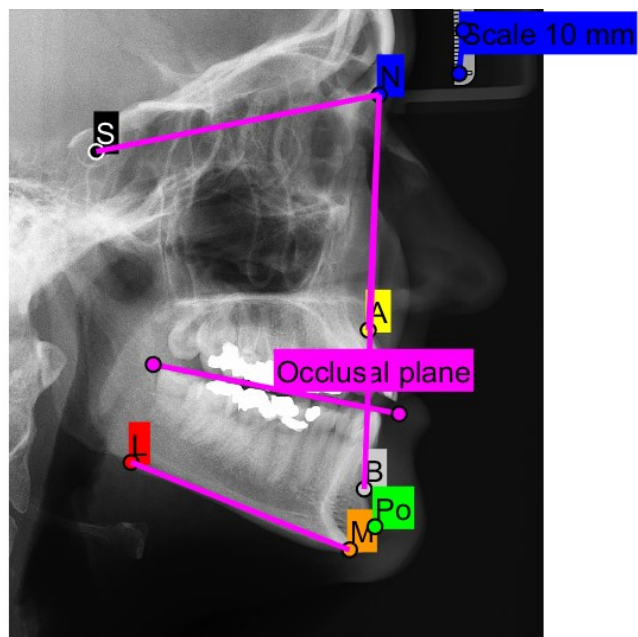
F27	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	61	69,42
Vzdálenost ML [mm]	54	62,21
Úhel NSML [°]	31	32,54
Úhel ANB [°]	6	6,08
Úhel SNA [°]	80	86,87
Vzdálenost A-AO [mm]	18	18,75
Vzdálenost B-BO [mm]	19	19,19
WITS [mm]	1,5	1,54
Vzdálenost A-Po [mm]	49	49,33
Vzdálenost N-Po [mm]	109	109,95



Obrázek 8.2 F27 Snímek z aplikace

Tabulka 8.3 F28 Srovnání analýz

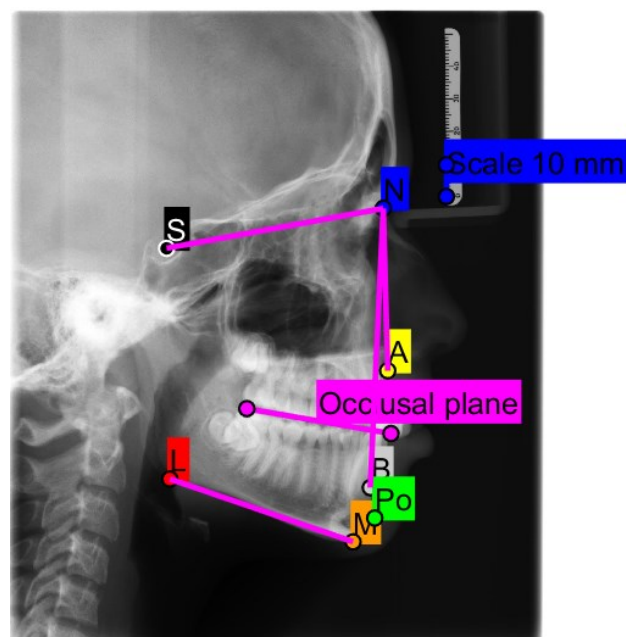
F28	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	63	66
Vzdálenost ML [mm]	52	53,8
Úhel NSML [°]	33	33,3
Úhel ANB [°]	0	0,45
Úhel SNA [°]	77	76
Vzdálenost A-AO [mm]	17	17,5
Vzdálenost B-BO [mm]	18	18,4
WITS [mm]	6	6,27
Vzdálenost A-Po [mm]	49	45,1
Vzdálenost N-Po [mm]	94	99,05



Obrázek 8.3 F28 Snimek z aplikace

Tabulka 8.4 F29 Srovnání analýz

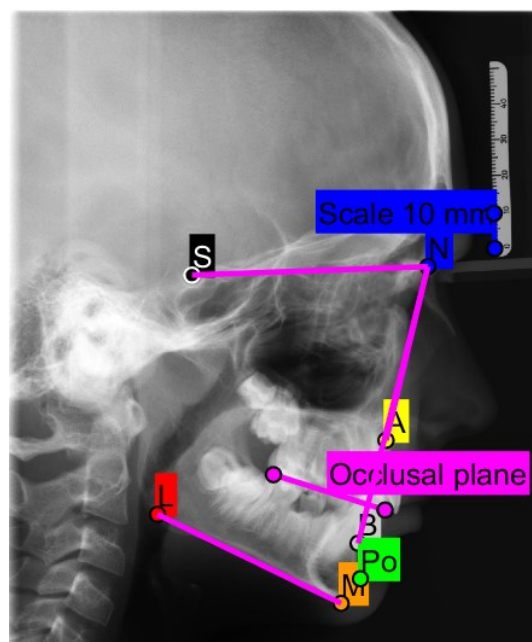
F29	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	68	69,48
Vzdálenost ML [mm]	60	61,08
Úhel NSML [°]	29	29,32
Úhel ANB [°]	4	4,249
Úhel SNA [°]	80	39,43
Vzdálenost A-AO [mm]	19	19,33
Vzdálenost B-BO [mm]	17	17,94
WITS [mm]	1	0,82
Vzdálenost A-Po [mm]	46	46,71
Vzdálenost N-Po [mm]	97	97,81



Obrázek 8.4 F29 Snímek z aplikace

Tabulka 8.5 M04 Srovnání analýz

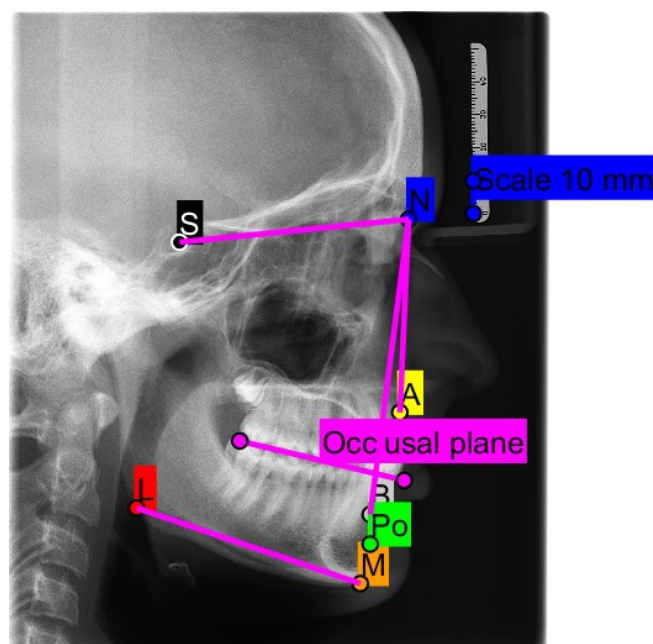
M04	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	64	66,85
Vzdálenost ML [mm]	54	57,72
Úhel NSML [°]	27	27,90
Úhel ANB [°]	0	0,63
Úhel SNA [°]	74	74,46
Vzdálenost A-AO [mm]	18	18,89
Vzdálenost B-BO [mm]	10,5	11,37
WITS [mm]	1	1,266
Vzdálenost A-Po [mm]	39,5	39,93
Vzdálenost N-Po [mm]	89	90,4



Obrázek 8.5 M04 Snímek z aplikace

Tabulka 8.6 M06 Srovnání analýz

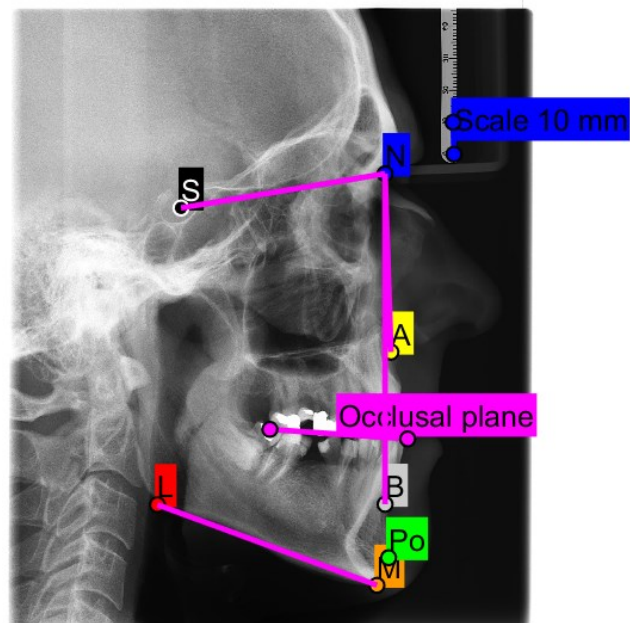
M06	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	70	70,49
Vzdálenost ML [mm]	71	72,25
Úhel NSML [°]	24	24,33
Úhel ANB [°]	4,8	4,82
Úhel SNA [°]	81	81,71
Vzdálenost A-AO [mm]	19	19,93
Vzdálenost B-BO [mm]	12	12,49
WITS [mm]	1,5	1,51
Vzdálenost A-Po [mm]	41	41,26
Vzdálenost N-Po [mm]	100	100,03



Obrázek 8.6 M06 Snímek z aplikace

Tabulka 8.7 M07 Srovnání analýz

M07	Zlatý standard	SW
Vzdálenost NS [mm]	63	64,8
Vzdálenost ML [mm]	72	73,15
Úhel NSML [°]	29	29,65
Úhel ANB [°]	1,8	1,90
Úhel SNA [°]	81,5	82,36
Vzdálenost A-AO [mm]	26	26,78
Vzdálenost B-BO [mm]	19	20,84
WITS [mm]	6	1,47
Vzdálenost A-Po [mm]	62	64,40
Vzdálenost N-Po [mm]	120	120,21



Obrázek 8.7 M07 Snímek z aplikace

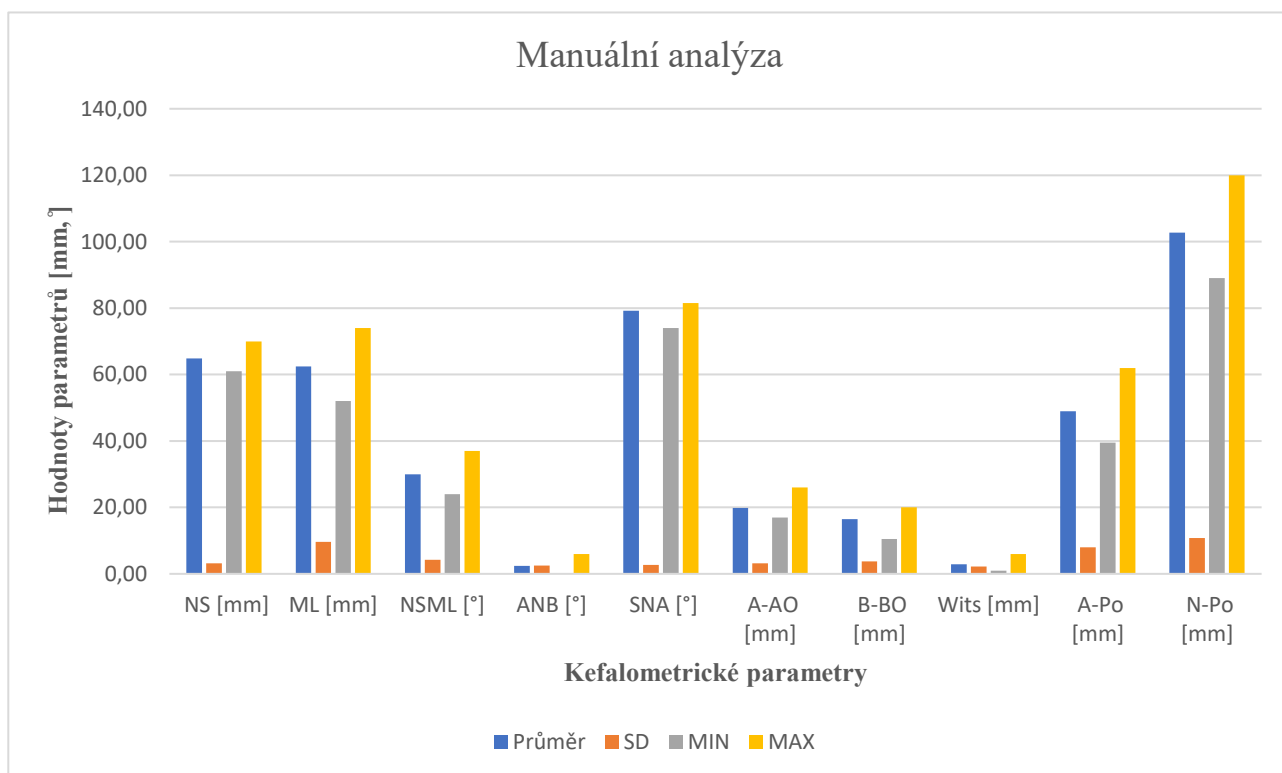
8.2 Statistické vyhodnocení

Ke statistickému zpracování výsledků jsem použila program MS Excel 2016. V tabulce 8.8 můžete vidět statisticky souhrnné výsledky měření 7 subjektů, u nichž byly naměřeny kefalometrické parametry manuálně a také za pomoci softwaru. Manuálně naměřené hodnoty nazvány jako zlatý standard byly porovnávány s hodnotami získanými pomocí softwaru. První sloupec tabulky zahrnuje měřené kefalometrické parametry. Sloupec s názvem průměr obsahuje aritmetický průměr hodnot všech měřených parametrů. Sloupec s názvem SD obsahuje směrodatnou odchylku souboru, pro zjištění rozptýlení hodnot. Sloupec MIN obsahuje vždy minimální naměřenou hodnotu pro každý kefalometrický parametr. Sloupec MAX obsahuje maximální získanou hodnotu každého kefalometrického parametru.

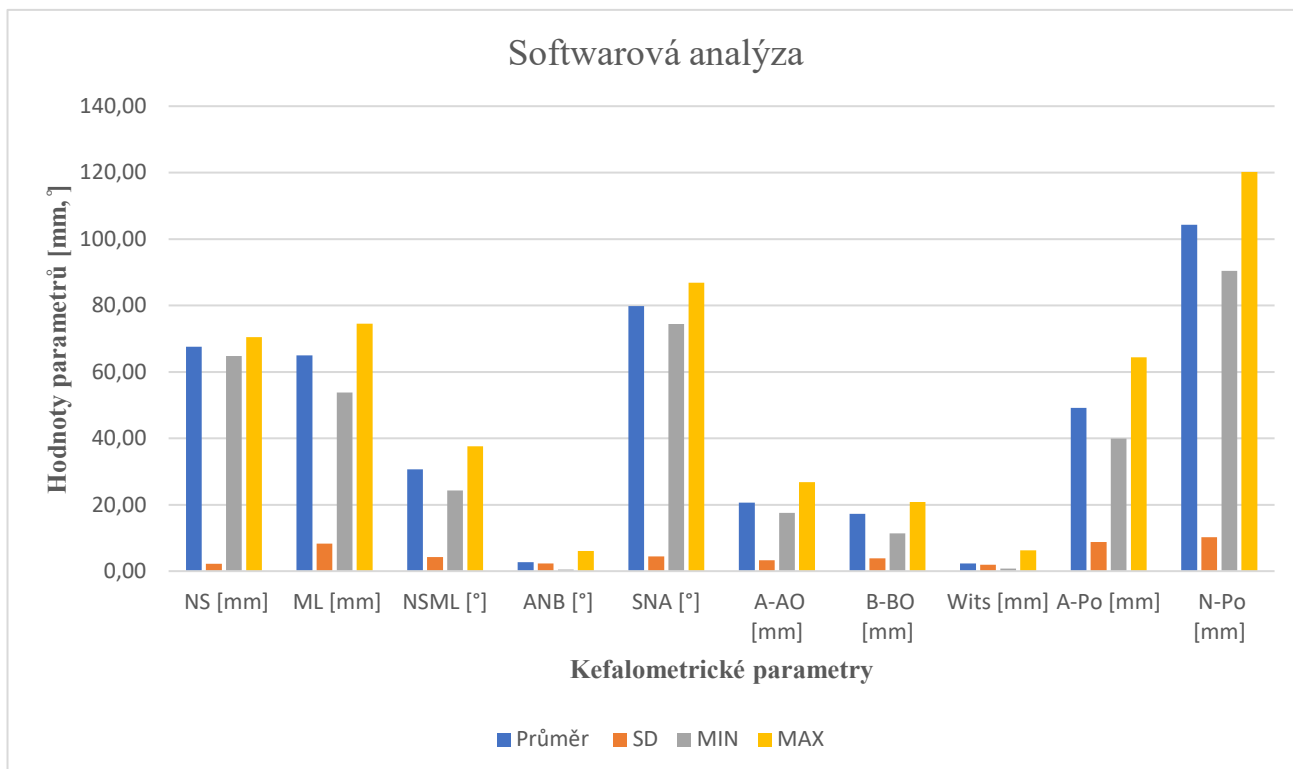
Tabulka 8.8 *Souhrnná statistická vyhodnocení*

	Zlatý standard				Software			
	Průměr	SD	MIN	MAX	Průměr	SD	MIN	MAX
Vzdálenost NS [mm]	64,86	3,13	61,00	70,00	67,58	2,18	64,80	70,49
Vzdálenost ML [mm]	62,43	9,62	52,00	74,00	64,96	8,28	53,80	74,54
Úhel NSML [°]	30,00	4,20	24,00	37,00	30,66	4,26	24,33	37,59
Úhel ANB [°]	2,44	2,48	0,00	6,00	2,70	2,31	0,45	6,08
Úhel SNA [°]	79,21	2,74	74,00	81,50	79,82	4,47	74,46	86,87
A-AO [mm]	19,86	3,13	17,00	26,00	20,65	3,27	17,50	26,78
B-BO [mm]	16,50	3,73	10,50	20,00	17,29	3,83	11,37	20,84
WITS [mm]	2,86	2,25	1,00	6,00	2,28	1,90	0,82	6,27
A-Po [mm]	48,93	7,97	39,50	62,00	49,14	8,75	39,93	64,40
N-Po [mm]	102,71	10,77	89,00	120,00	104,26	10,26	90,40	120,21

Na obrázku 8.8 a obrázku 8.9 můžete vidět grafy vytvořené z tabulky 8.8. Graf ruční analýzy zobrazuje graficky ručně naměřené kefalometrické parametry, tedy rozložení minimální hodnoty, maximální hodnoty, směrodatné odchylky a aritmetického průměru. Graf softwarové analýzy zobrazuje ty samé vypočtené hodnoty kefalometrických parametrů, jako graf ruční analýzy, s tím rozdílem, že kefalometrické parametry tohoto souboru byla získána softwarem. Z obou grafů lze vypořovovat nepatrné a statisticky nevýznamné rozdíly mezi měřenými soubory dat.



Obrázek 8.8 Graf manuální analýzy



Obrázek 8.9 Graf softwarové analýzy

8.3 Korelace manuální a programové kefalometrické analýzy

V této kapitole bereme manuální měření jako tzv. zlatý standard. Programové měření je považováno za uspokojivé, pokud s manuálním měřením statisticky signifikantně koreluje. V tomto případě by bylo možno – pokud bychom měli dostatečně reprezentativní počet vzorků (dRTG snímků) – stanovit odpovídající kalibrační funkci. Vzhledem k malému počtu dRTG snímků (sedm případů) tuto část provádět nebudeme a zaměříme se pouze na korelace. Pokud ovšem je korelace nízká a/nebo statisticky nesignifikantní, lze jen těžko hovořit o kalibraci ve smyslu, jak byla naznačena výše. Pro jednotlivé parametry budeme testovat nulovou hypotézu (H_0), že populační korelační koeficient je nulový.

Nulová hypotéza (H_0) není zamítnuta, tj. korelace je nízká a statisticky nesignifikantní pro následující parametry:

1. NS
2. SNA
3. WITS (nebyť jedné zcela odlehle hodnoty programového měření, korelace by jistě byla vysoce signifikantní)

Nulovou hypotézu (H_0) zamítáme ve prospěch hypotézy alternativní (H_A), tj. mezi manuální a programovým měřením je statisticky signifikantní korelace pro následující parametry:

1. ML NSML

2. ANB

3. A-AO

4. A-PO

5. NPO

6. BBO

Korelace s p hodnotou pod 10^{-6} jsou NSML, ANB, A-AO. V příloze testování hypotéz se nachází vypracovaný soubor v programu Mathematica, kde jsou podrobně popsány použité hypotézy a z nich vyplývající výsledky testů.

Závěr

Kefalometrická analýza je v dnešní době široce používanou popisnou a analytickou metodou. Existuje mnoho druhů kefalometrických analýz, ale ani jedna nebyla doposud zjištěna jako zásadní při plánování léčby. Existuje mnoho dostupných softwarů pro tvorbu kefalometrické analýzy, ale ne vždy obsahují tu analýzu, kterou daný ortodontista vyžaduje. V první části mé práce jsem se zabývala rešeršními články, které obsahovaly důležité body pro tvorbu softwaru pro kefalometrickou analýzu. V teoretické části jsem popisovala teoretický úvod do stomatology a ortodoncie a dle toho jsem zařadila kefalometrii, kterou jsem také popisovala.

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření jednoduchého uživatelského rozhraní pro kefalometrickou analýzu, které umožní načtení telerentgenových snímků lebky s následnou semiautomatizovanou analýzou vybraných parametrů. Takto optimalizovaná analýza by měla být mnohem rychleji vykonávána, než jak je tomu u dostupných komerčních softwarů. První otázkou bylo, jaké vybrané geometrické parametry zařadit do aplikace pro rychlou analýzu kefalometrického snímku. Dle požadavků ortodoncie byly vybrány parametry, které svým způsobem ovlivňují plán ortodontické léčby. Poté byla navržena aplikace pro výpočet důležitých kefalometrických parametrů.

Testování aplikace proběhlo na ortodontickém pracovišti v Hradci nad Moravicí. Testování proběhlo formou porovnání aplikace s ruční analýzou kefalometrického snímku. Do celkového testování aplikace bylo zařazeno 37 pacientů. Pro porovnání aplikace s ruční analýzou bylo vybráno sedm náhodně zvolených snímků. Na těchto kefalometrických snímcích byla provedena ruční kefalometrická analýza pro námi vybrané parametry, tedy měli jsme k dispozici vytisknutý snímek pacienta, na kterém jsme proměřili ručně kefalometrické hodnoty. Tu samou analýzu jsme zhotovili pro každý kefalometrický snímek ve vytvořené aplikaci. Každý naměřený parametr jednotlivého pacienta byl statisticky vyhodnocen. Statistické vyhodnocení proběhlo formou výpočtů všech parametrů, byly provedeny výpočty aritmetického průměru pro každý parametr, směrodatné odchylky pro každý parametr a stanovení maxim a minim každého vyhodnocovaného souboru dat.

Největším přínosem této bakalářské práce je dle mého bezesporu urychlení tvorby jednoduché kefalometrické analýzy u každého jednotlivého pacienta. Takto provedená softwarová analýza trvá ortodontistovi zhruba 1 minutu. V porovnání s manuální analýzou, která zabere ortodontistovi spoustu času, tato aplikace zrychlí plánování léčby. Dalším přínosem je dle mého následné porovnání pacientova stavu chrupu a lebky před a po léčbou, docílila jsem znovunačtení již extrahovaných kefalometrických bodů, linií a úhlů do nového snímku, který bude pořízen po léčbě. Chtěla bych se k tomuto tématu vrátit při tvorbě diplomové práce, kde bych chtěla aplikaci povýšit na úroveň extrakce bodů pomocí metod umělé inteligence a také porovnat kefalometrické snímky zaléčených pacientů získaných v této práci. Momentálně nemáme k dispozici pacienta, u kterého bychom mohli porovnat stav po ortodontické léčbě.

Použitá literatura

- [1] KAMÍNEK, Milan. *Ortodoncie*. Praha: Galén, c2014. Zubní lékařství. ISBN 978-80-7492-112-4.
- [2] WEBER, Thomas. *Memorix zubního lékařství*. 2. české vyd. Přeložil Magdalena KOŤOVÁ. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3519-1
- [3] WEBEROVÁ, Zuzana a Chaitra RAMANATHAN. *Učebnice ortodontie pro studenty zubního lékařství*. Hradec Králové: Nucleus HK, 2008. Edice zubního lékařství (Nucleus HK). ISBN 978-80-87009-49-9
- [4] KAMÍNEK, Milan. *Ortodoncie*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001. ISBN 80-244-0204-1.
- [5] MAZÁNEK, Jiří. *Stomatologie pro dentální hygienistky a zubní instrumentárky*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN isbn978-80-247-4865-8.
- [6] PASLER, Friedrich A. a Heiko VISSER. *Stomatologická radiologie*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1307-6.
- [7] ŠONKA, Karel. *Apnoe a další poruchy dýchání ve spánku*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0430-7.
- [8] SLEZÁKOVÁ, Lenka, Markéta HRUŠKOVÁ, Petra KADUCHOVÁ, Irena PŘIVŘELOVÁ, Eva STAROŠTÍKOVÁ a Eva VŠETIČKOVÁ. *Stomatologie I: pro SZŠ a VOŠ*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5826-8.
- [9] MAZÁNEK, Jiří. *Zubní lékařství: pro studující nestomatologických oborů*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-247-5807-7.
- [10] STALEY, Robert N. a Neil T. RESKE. *Essentials of orthodontics: diagnosis and treatment*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2011. ISBN 9780813808680.
- [11] Využití internetu ve výuce goniometrie na střední škole. Praha, 2006. Diplomová. Univerzita Karlova v Praze.
- [12] PITTAYAPAT, P., M. M. BORNSTEIN, T. S. N. IMADA, W. COUCKE, I. LAMBRICHTS a R. JACOBS. Accuracy of linear measurements using three imaging modalities: two lateral cephalograms and one 3D model from CBCT data. *The European Journal of Orthodontics*[online]. 2015, **37**(2), 202-208 [cit. 2018-08-31]. DOI: 10.1093/ejo/cju036. ISSN 0141-5387. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ejo/article-lookup/doi/10.1093/ejo/cju036>
- [13] EL-BIALY, Tarek, Budi KUSNOTO, Dena SAWCHUK, Adel ALHADLAQ, Thamer ALKHADRA a TerryD CARLYLE. Comparison of two three-dimensional cephalometric analysis computer software. *Journal of Orthodontic Science* [online]. 2014, **3**(4) [cit. 2018-08-31]. DOI: 10.4103/2278-0203.143230. ISSN 2278-0203. Dostupné z: <http://www.jorthodsci.org/text.asp?2014/3/4/111/143230>

- [14] QAMARUDDIN, Irfan, Mohammad Khursheed ALAM, Fazal SHAHID, Sadaf TANVEER, Marvee UMER a Erum AMIN. Comparison of popular sagittal cephalometric analyses for validity and reliability. *The Saudi Dental Journal* [online]. 2018, **30**(1), 43-46 [cit. 2019-04-13]. DOI: 10.1016/j.sdentj.2017.10.002. ISSN 10139052. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S101390521730075>
- [15] MOSLEH, Mogeab Ahmed Ahmed, Mohd Sapiyan BABA, Sorayya MALEK a Rasheed A. ALMAKTARI. Ceph-X: development and evaluation of 2D cephalometric system. *BMC Bioinformatics* [online]. 2016, **17**(S19) [cit. 2018-08-31]. DOI: 10.1186/s12859-016-1370-5. ISSN 1471-2105. Dostupné z: <http://bmcbioinformatics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12859-016-1370-5>
- [16] PERINETTI, Giuseppe, Michele CESCHI, Alessandro SCALIA a Luca CONTARDO. Cephalometric Floating Norms for the β Angle and MMBP-Wits. *BioMed Research International* [online]. 2018, 2018, 1-6 [cit. 2019-04-13]. DOI: 10.1155/2018/8740731. ISSN 2314-6133. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2018/8740731/>
- [17] HOLČÍK, Jiří a Ewa STRASZECKA. Bionika: biologické systémy a procesy. Brno: Vysoké učení technické, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1487-1
- [18] HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2001. ISBN 80-902896-1-4
- [19] Analytická geometrie. *Výpočetní a aplikovaná matematika* [online]. Ostrava: Copyright © 2018 VŠB-KAM, 2018 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://homel.vsb.cz/~jan939/LAIT/analyticka_geometrie.pdf?fbclid=IwAR24qJqTOEMTeX0HF6ENsDiAXocmvzurWGz_ktq_JZqs5knXzdN5NGR1wlv
- [20] Aplikace ionizujícího záření. *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava: Vojtěch Ullmann [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm>
- [21] PENHAKER, Marek. Lékařské terapeutické přístroje. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1558-9.
- [22] Informace NRL č. 13/2002. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV [online]. Praha: Kolektiv pracovníků SZÚ, 2002 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/informace-nrl-c-13-2002>
- [23] NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1152-4
- [24] BRYJOVÁ, Iveta. *Principy a metody moderní medicínské diagnostiky*. Opava, 2007. Bakalářská. Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav fyziky. Vedoucí práce RNDr. Stanislav Hledík, Ph.D.
- [25] WANG, Ching-Wei, Cheng-Ta HUANG, Jia-Hong LEE a Chung-Hsing LI. A benchmark for comparison of dental radiography analysis algorithms. *Medical Image Analysis* [online]. 2016, **31**, 63-76 [cit. 2019-04-27]. DOI:

10.1016/j.media.2016.02.004. ISSN 13618415. Dostupné z:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26974042>

[26] GUPTA, Abhishek, Om Prakash KHARBANDA, Viren SARDANA, Rajiv BALACHANDRAN a Harish Kumar SARDANA. Accuracy of 3D cephalometric measurements based on an automatic knowledge-based landmark detection algorithm. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* [online]. 2016, **11**(7), 1297-1309 [cit. 2019-04-27]. DOI: 10.1007/s11548-015-1334-7. ISSN 1861-6410. Dostupné z:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26974042>

[27] Trigonometrie - Sinová a kosinová věta a jejich využití v Technické matematice. In: *Kiwi.mendelu.cz* [online]. Brno: Dana Říhová, Pavla Kotásková, 2013 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z:
http://user.mendelu.cz/qqrihova/zvm/PDF_TM/goniometrie_tisk.pdf

Seznam příloh

Tištěné přílohy

Příloha A Testování hypotéz

Příloha B Ukázkové kazuistiky

Příloha C Tabulka subjektů použitých v práci

Přílohy na CD

Kód, Aplikace Optimization of Cephalometric analysis

Kefalometrické dRTG snímky

Příloha A Testování hypotéz

Data

```
ln[3]= ns = <|"manual" → {65.00, 61.00, 63.00, 68.00, 64.00, 70.00, 63.00}, "sw" → {66.03, 69.42, 66, 69.48, 66.85, 70.49, 64.8} |>;
ml = <|"manual" → {74, 54, 52, 60, 54, 71, 72}, "sw" → {74.54, 62.21, 53.8, 61.08, 57.72, 72.25, 73.15} |>;
nsm1 = <|"manual" → {37, 31, 33, 29, 27, 24, 29}, "sw" → {37.59, 32.54, 33.3, 29.32, 27.9, 24.33, 29.65} |>;
anb = <|"manual" → {0.5, 6, 0, 4, 0, 4.8, 1.8}, "sw" → {0.78, 6.08, 0.45, 4.249, 0.63, 4.82, 1.9} |>;
sna = <|"manual" → {81, 80, 77, 80, 74, 81, 81.5}, "sw" → {81.37, 86, 76, 76, 74.46, 81.71, 82.36} |>;
wits = <|"manual" → {3, 1.5, 6, 1, 1, 1.5, 6}, "sw" → {3.1, 1.54, 6.27, 0.82, 1.266, 1.51, 1.47} |>;
aao = <|"manual" → {22, 18, 17, 19, 18, 19, 26}, "sw" → {23.4, 18.75, 17.5, 19.33, 18.89, 19.93, 26.78} |>;
apo = <|"manual" → {56, 49, 49, 46, 39.5, 41, 62}, "sw" → {56.64, 49.93, 45.1, 46.71, 39.93, 41.26, 64.4} |>;
npo = <|"manual" → {110, 109, 94, 97, 89, 100, 120}, "sw" → {112.36, 109.95, 99.05, 97.81, 90.4, 100.03, 120.21} |>;
bbo = <|"manual" → {20, 19, 18, 17, 10.5, 12, 19}, "sw" → {20.79, 19.19, 18.4, 17.94, 11.37, 12.49, 20.84} |>;
```

Inference stats

Pro každý parametr (NS, ML, NSML, ..., B-Bo, celkem 10 parametrů) jsou uvedeny dva grafy:

- Vlevo scatter plot, v němž souřadnice každého modrého bodu reprezentují dvojici hodnot manuálního měření (vodorovná osa) a sw měření (svislá osa) jednoho pacienta. Scatter plot dobře znázorňuje korelaci obou způsobů měření.
- Vpravo krabicový graf (box-and-whisker chart), v němž horní a dolní hrana žlutého obdélníka reprezentuje horní a dolní kvartil dat, čerá úsečka přes celou šířku žlutého obdélníka reprezentuje medián, a kratší silnější červená úsečka střední hodnotu. Plůtky (horní a dolní "fous") znázorňují minimum a maximum dat. Případný výskyt odlehých (extrémně odlehých) hodnot je vyznačen modrými (červenými) body.

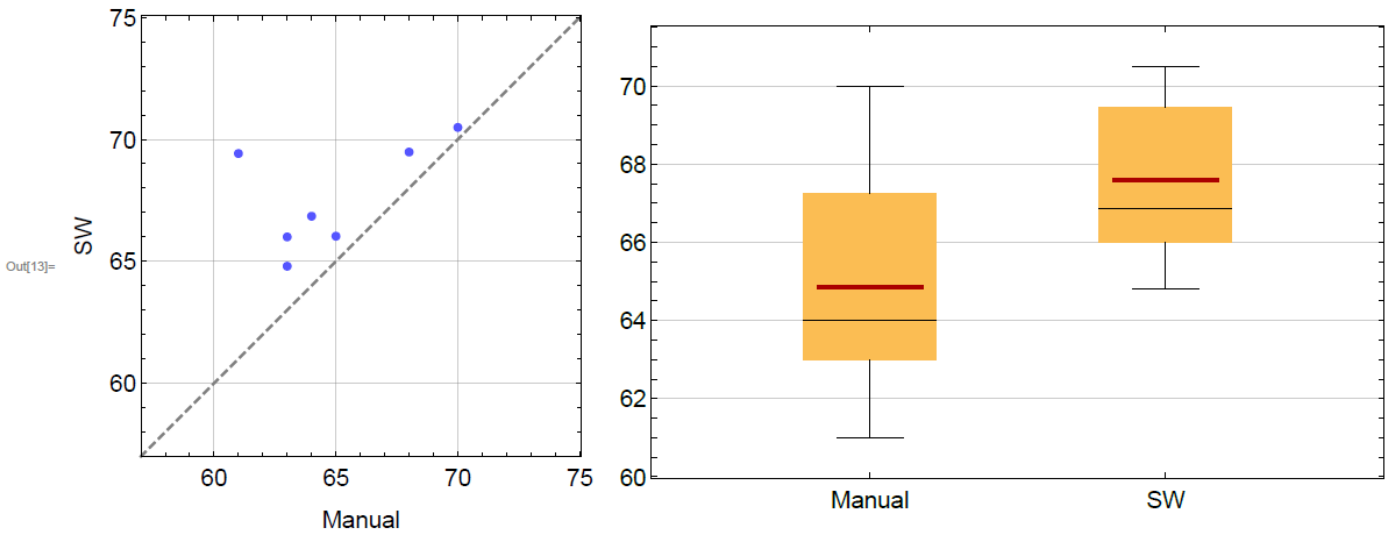
Následně jsou testována dvě hypotézy:

- Nulová hypotéza: korelační koeficient mezi oběma způsoby měření je nulový. Tato hypotéza se vztahuje ke scatter plotu.
- Nulová oboustranná hypotéza: střední hodnoty obou způsobů měření se rovnají.

Pro testování první hypotézy je použit test, pro testování druhé hypotézy pak Studentův párový T-test. Jako výstup každého testu je uvedena testová statistika, p-Value a závěr testu.

NS

```
In[13]= Row[{scatterPlot[#], bwChart[#]} &[ns], Spacer[10]]
```



```
In[14]=  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[ns]^T, 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

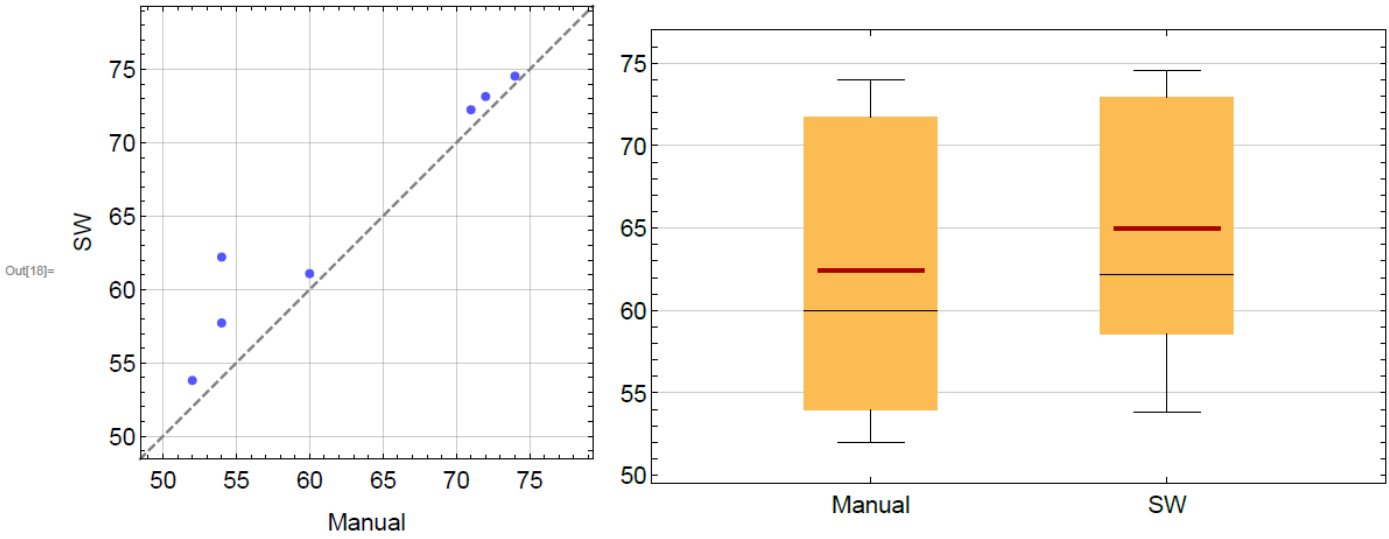
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.544311	0.222267	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is not rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.594619	0.170824	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is not rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[16]=  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[ns], 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	-2.69876	0.0356346	The null hypothesis that the mean difference is 0 is rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

ML

```
In[18]:= Row[{scatterPlot[#, bwChart[#]} &[ml], Spacer[10]]
```



```
In[19]:=  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[ml]^T, 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

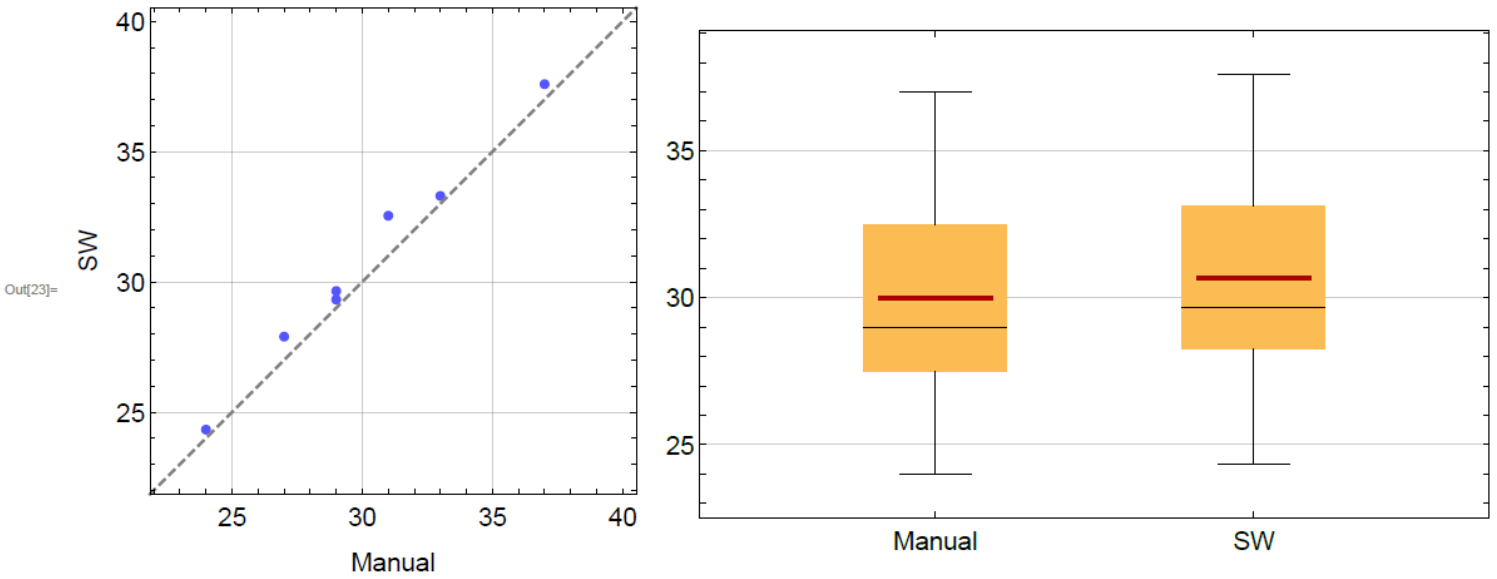
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.965481	0.0000530016	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.936975	0.000614006	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[21]:=  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[ml], 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	-2.48259	0.0476376	The null hypothesis that the mean difference is 0 is rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

NSML

```
In[23]:= Row[{scatterPlot[#, bwChart[#]} &[nsml], Spacer[10]]
```



```
In[24]:=  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[nsml]^T, 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

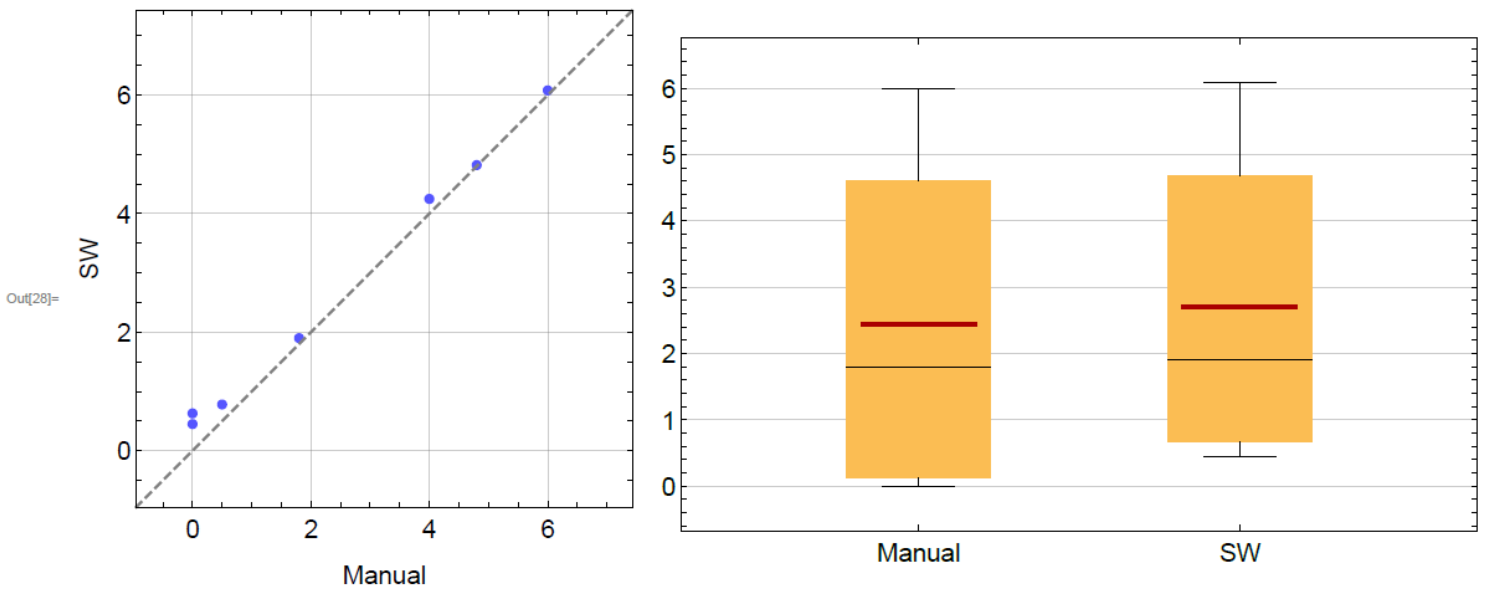
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.99456	3.54059×10^{-9}	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.991031	6.56609×10^{-8}	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[26]:=  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[nsml], 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	-3.92768	0.00773335	The null hypothesis that the mean difference is 0 is rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

ANB

```
In[28]:= Row[{scatterPlot[#, bwChart[#]] &[anb], Spacer[10]}
```



```
In[29]:=  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[anb]^T, 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

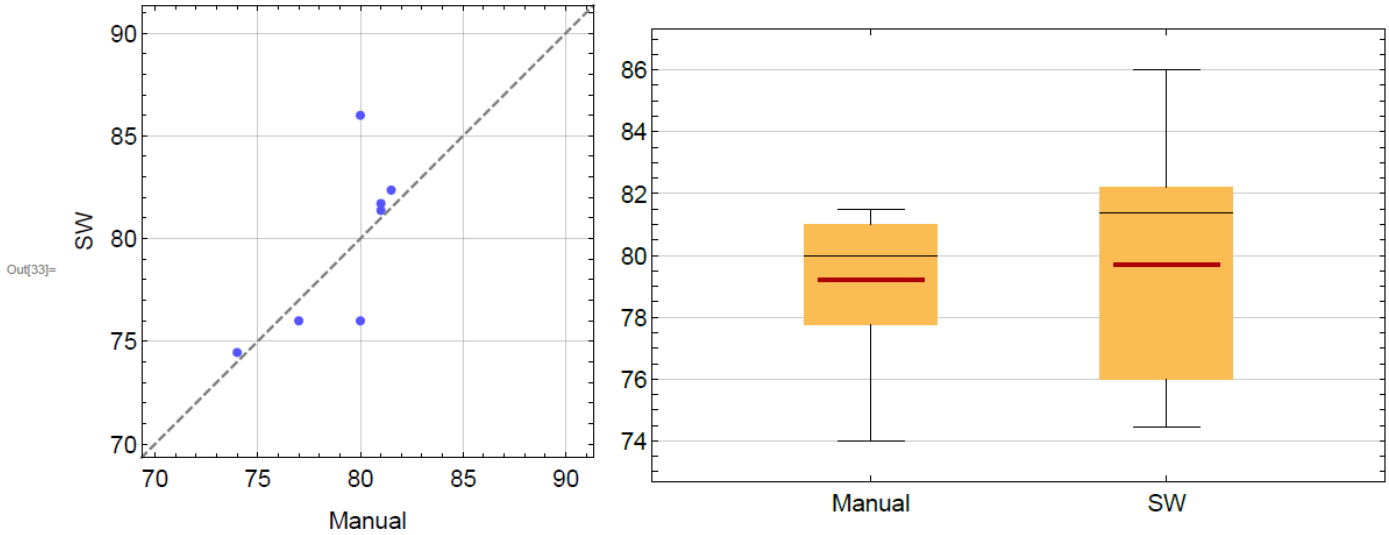
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.998195	2.38855×10^{-12}	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.991031	6.56609×10^{-8}	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[31]:=  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[anb], 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	-3.11486	0.0207202	The null hypothesis that the mean difference is 0 is rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

SNA

```
In[33]= Row[{scatterPlot[#], bwChart[#]} &[sna], Spacer[10]]
```



```
In[34]=  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[sna]^T, 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

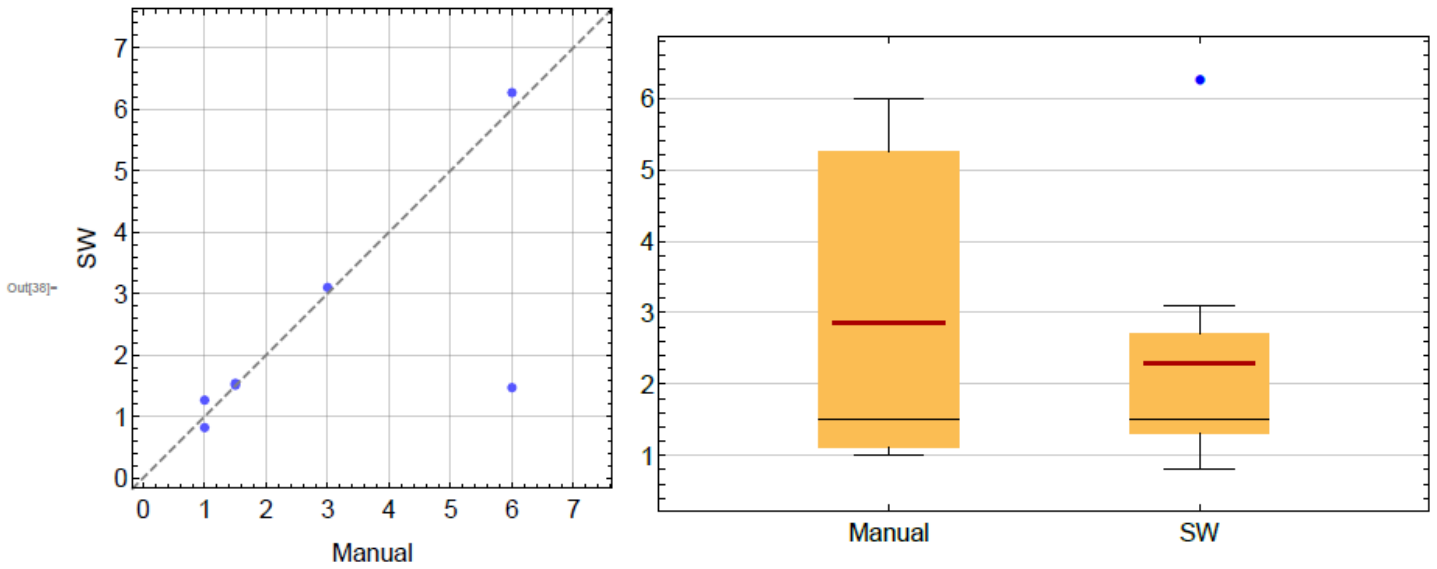
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.719366	0.0698845	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is not rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.688102	0.0912798	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is not rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[36]=  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[sna], 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> None];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	-0.432624	0.680406	The null hypothesis that the mean difference is 0 is not rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

Wits

```
In[38]- Row[{scatterPlot[#, bwChart[#]} &[wits], Spacer[10]}
```



```
In[39]-  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[wits]^T, 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

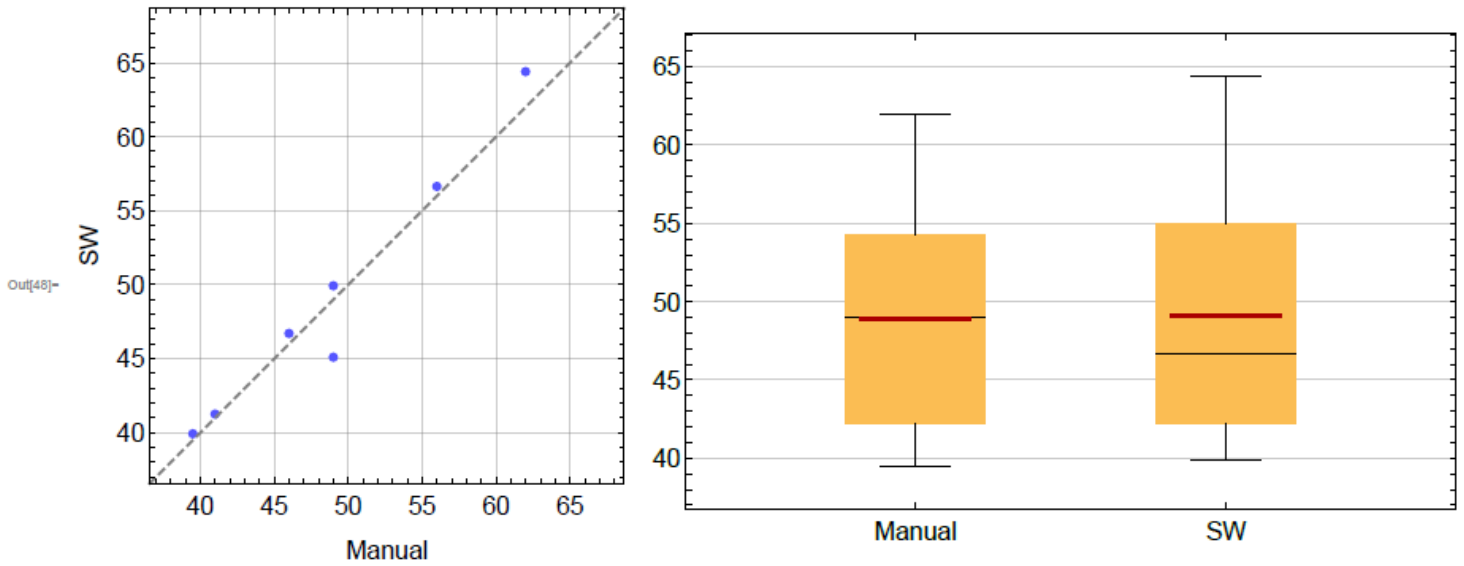
	Statistic	P-Value	
Spearman Rank	0.697512	0.0845496	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is not rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[41]-  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[wits], 0, "HypothesisTestData",
  AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> None];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	0.86862	0.41844	The null hypothesis that the mean difference is 0 is not rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

A-Po

```
In[48]- Row[{scatterPlot[#], bwChart[#]} &[apo], Spacer[10]]
```



```
In[49]-  $\mathcal{H}$  = CorrelationTest[Values[apo]T, 0, "HypothesisTestData",
      AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

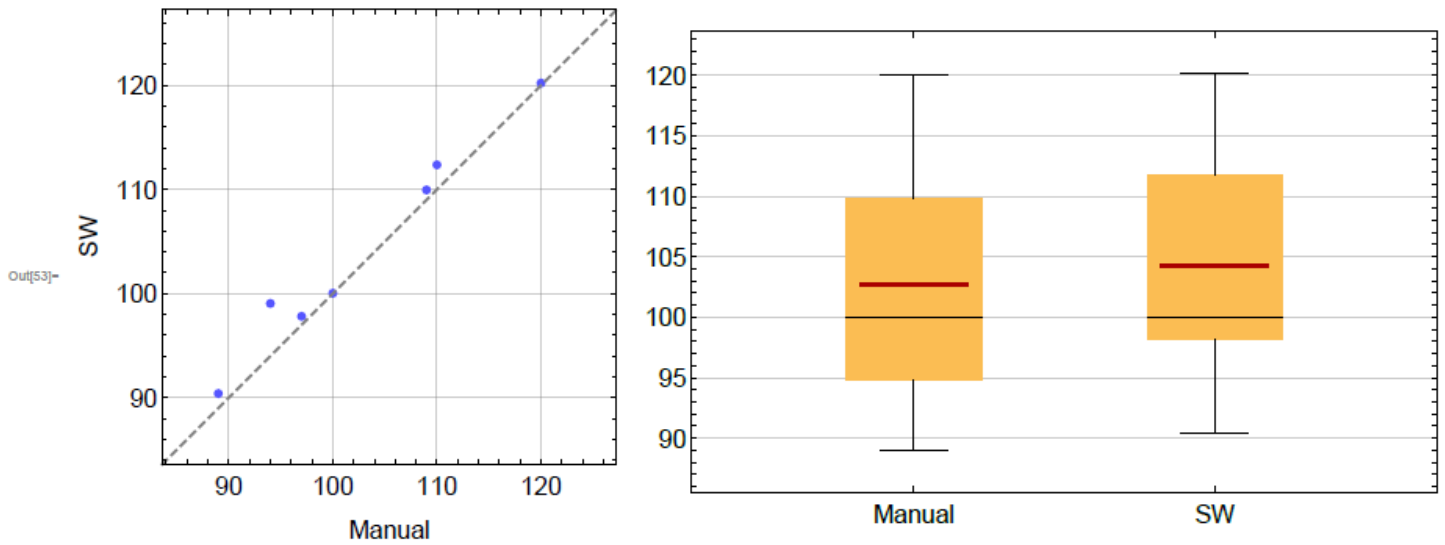
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.977174	8.13799×10^{-6}	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.936975	0.000614006	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

```
In[51]-  $\mathcal{H}$  = LocationTest[Values[apo], 0, "HypothesisTestData",
      AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{ $\mathcal{H}$ ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ $\mathcal{H}$ ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]
```

	Statistic	P-Value	
Paired T	-0.285696	0.784718	The null hypothesis that the mean difference is 0 is not rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

N-Po

In[53]- `Row[{scatterPlot[#], bwChart[#]} &[npo], Spacer[10]]`



In[54]- `H = CorrelationTest[Values[npo]^T, 0, "HypothesisTestData",
AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{H["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@H["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]`

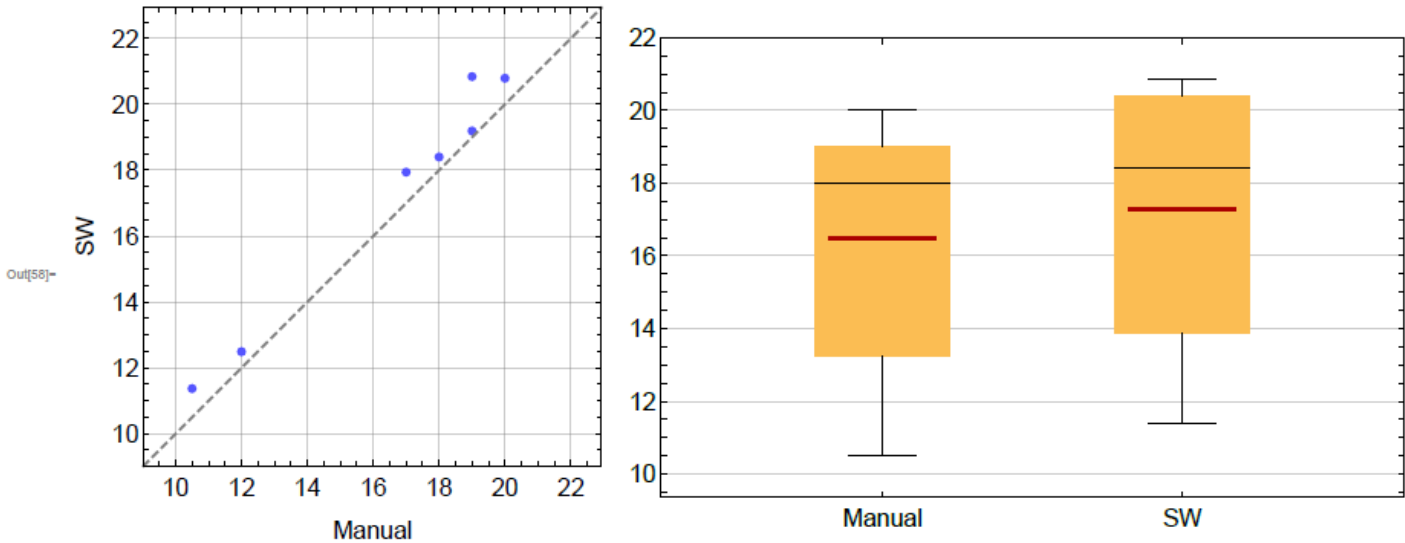
	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.987636	3.77658×10^{-7}	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.964286	0.0000614082	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

In[56]- `H = LocationTest[Values[npo], 0, "HypothesisTestData",
AlternativeHypothesis -> "Unequal", SignificanceLevel -> 0.05, VerifyTestAssumptions -> All];
Row[{H["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@H["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]`

	Statistic	P-Value	
Paired T	-2.36275	0.0560733	The null hypothesis that the mean difference is 0 is not rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

B-Bo

In[58]: Row[{scatterPlot[#, bwChart[#]] &[bbo], Spacer[10]]



In[59]: \mathcal{H} = CorrelationTest[Values[bbo]^T, 0, "HypothesisTestData",
 AlternativeHypothesis → "Unequal", SignificanceLevel → 0.05, VerifyTestAssumptions → All];
 Row[{ \mathcal{H} ["TestDataTable", All], Pane[Style[Column@ \mathcal{H} ["TestConclusion", All], 11], 640]}, Spacer[20]]

	Statistic	P-Value	
Pearson Correlation	0.990276	1.02965×10^{-7}	The null hypothesis that the population correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Pearson Correlation test.
Spearman Rank	0.936975	0.000614006	The null hypothesis that the population rank correlation coefficient is equal to 0. is rejected at the 5. percent level based on the Spearman Rank test.

In[61]: \mathcal{H} = LocationTest[Values[bbo], 0, "HypothesisTestData",
 AlternativeHypothesis → "Unequal", SignificanceLevel → 0.05, VerifyTestAssumptions → All];
 Row[{ \mathcal{H} ["TestDataTable", {"PairedT"}], Pane[Style[Column@ \mathcal{H} ["TestConclusion", {"PairedT"}], 11], 640]}, Spacer[20]]

	Statistic	P-Value	
Paired T	-3.88155	0.00815602	The null hypothesis that the mean difference is 0 is rejected at the 5. percent level based on the Paired T test.

Initialization

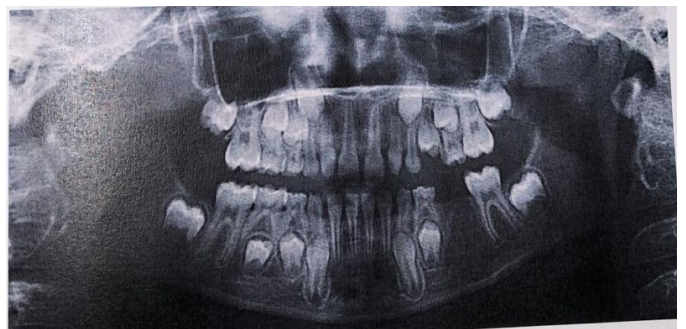
```
In[63]: scatterPlot[data_] := Module[{val, plr}, val = Values[data]T;
  plr = {0.95, 1.05} (MinMax[Flatten[val]] + {-1, 1});
  Show[ListPlot[val, Axes → False, Frame → True, GridLines → Automatic, PlotRange → {plr, plr}, PlotStyle → Directive[PointSize[0.02],
    Lighter@Blue], FrameStyle → Directive[Black, FontSize → 15], FrameLabel → {"Manual", "SW"}, Background → White, AspectRatio →
    1, ImageSize → 330], Plot[x, {x, First@plr, Last@plr}, PlotStyle → Directive[Dashed, Gray], Axes → False, Frame → True]]

bwChart[data_] := BoxWhiskerChart[Values[data], {{"Whiskers", Directive[Thin, Black]},
  {"Fences", Directive[Thin, Black]}, {"Outliers", Directive[Small, Blue]}, {"FarOutliers", Directive[Small, Red]},
  {"MedianMarker", Black}, {"MeanMarker", 0.8, Directive[Thick, Darker@Red]}}, GridLines → {None, Automatic},
  ChartLabels → {None, {"Manual", "SW"}}, FrameStyle → Directive[Black, FontSize → 15], ImageSize → 480]
```

Příloha B Ukázkové kazuistiky

Kazuistika_1

VSTUPNÍ VYŠETŘENÍ – zhotoven dRTG snímek, OPG snímek, fotografická dokumentace



Kazuistika případu č.1

Důvod návštěvy: Pacientka odeslána od praktické zubní lékařky z důvodu ageneze zubu 35.

OA: Zdravá. Úrazy i alergie neguje. **RA:** V rodině II. skeletální třída ze strany matky, terapie extrakce 14,24 v horní čelisti.

Předchozí ortodontická léčba:

Ve smíšeném chrupu léčena extraorálním tahem (krční tah), transpalatinálním obloukem, lingválním obloukem. Kontrola erupce chrupu

Extraorální vyšetření:

Typ postavy: normostenik, postoj: aktivní, výška těla 154 cm

Držení hlavy: přímé, mimika: přiměřená, řeč: srozumitelná

Obličej: bez patrné asymetrie, typ obličeje: oválný, vertikální poměry: 1:1:1, profil přímý

Měkké tkáně: bez interlabiální mezery

Vzdálenost incision-stomion: 4 mm

Funkční vyšetření:

Retní uzávěr v normě, rty bez asymetrií, bez zlovyků. Funkce TMK oboustranně bez obtíží či zvukových fenoménů. Otevírá volně na 47 mm. Bez nuceného vedení. Profilová zkouška negativní.

Intraorální vyšetření:

Angle ½ II. třída v molárech oboustranně,

Angle I. třída ve špičácích oboustranně.

IS = 2,5 mm, HS = 60 %

Středy zubních oblouků symetrické.

Analýza studijních modelů:

Dentální diskrepance: horní čelist 6,7 mm; dolní čelist 6,4 mm. Transverzální diskrepance je 1,00 mm (posuzována v prvních stálých molárech).

Analýza RTG: smíšená dentice, ageneze zubu 35 (OPG)

Diagnóza:

Skeletální I. třída dle ANB = 2,2°, III. dle Wits = -3,0 mm

NSML = 24,5°

SGo:NMe = 72,1 % (růst blízký anteriorotaci)

Ageneze 35

Léčebný plán:

Pacientka před převzetím do mé péče léčena již na našem oddělení transpalatinálním obloukem, krčným tahem, lingválním obloukem. Po aktualizaci vstupního vyšetření ve stálém chrupu navrženy dvě varianty terapie:

Plán A: Agenezi zubu 35 řešit ve stálém chrupu distalizací zubu 34 na pozici 35 a implantací do místa 34.

Plán B: Uzavření mezery po agenezi zubu 35 mesializací 36,37 (zhotoveno nové OPG a zde založeny zuby 18,28,38,48, proto nabídnuta varianta medializace 36,37 z důvodu založení zubu 38 a tím získání antagonisty pro zub 27). Pacientka si zvolila plán terapie B.

0. Nasazení parciálního fixního aparátu v rozmezí 33-37, zavedení kotevního šroubu distálně od kořene zubu 33 – nepřímé kotvení k zubu 33, mesializace 36,37. Ponechání transpalatinálního oblouku z předchozí terapie.
1. Horní fixní aparát, v rozsahu 16-26, nivelizace, uzavření tremat, po erupci 17,27 lepení kanyl.
2. Dolepení dolního fixního aparátu (rozsah 37-47), nivelizace, medializace 36,37 ke kotevnímu šroubu, zvýšení skusu.
3. Retenční fáze léčby – monoblok, dolní fixní retainer 33-43, horní essix (v rozsahu 17-27, zub 27 zatím bez antagonisty do erupce zubu 38).

Plánovaná artikulace I. třída dle Angle ve špičáku a moláru vpravo III. třída dle Angle v moláru vlevo, I. třída dle Angle ve špičáku vlevo.

Léčebný postup:

27.4.2010 Vstupní vyšetření. Červen 2010–červen 2012: lingvální oblouk, extraorální tah, transpalatinální oblouk, který je ponechán v terapii ve stálém chrupu.

21.6.2012 Aktualizace vstupního vyšetření.

28.8.2013 Nasazení parciálního fixního aparátu v rozsahu 37-33, expanze mezi 33-34 pro mesializaci 33.

9.10.2013 Zavedení kotevního šroubu distálně od kořene zubu 33, nepřímé kotvení k zubu 33, mesializace 36,37.

11.2.2014 Nasazení horního fixního aparátu v rozsahu 16,26, oblouk NiTi .012“, osm 16-13, 11-21, 23-26, transpalatinální oblouk beze změn. V DČ pokračování v mesializaci 36,37 – výměna elastického řetízku 33-36.

18.3.2014 Dolepení kanyl na zubech 17,27. V DČ pokračování v mesializaci 36,37 – výměna elastického řetízku.

8.9.2014 Dolepení fixního aparátu, kanyly 46,47 zámky v rozsahu 45-32, oblouk NiTi .012“ končí za zubem 32, segment 33-37 ponechán SS .017x025“ pro mesializace 36,37.”

13.10.2014 Oblouk SS .017x025“ v HČ, korekce horního středu – osm 16-21, zhotoveny frontální nákusy. V DČ NiTi .016“ v rozsahu 47-32, segment 33-37 beze změn, výměna elastického řetízku

1.12.2014 V HČ beze změn. V DČ propojeny oba segmenty, nový oblouk NiTi .017x025“ v rozsahu 47-37, pokračování v mesializaci 36,37.

19.1.2015 Oblouk SS .017x025“ mírně antispee v DČ, odstraněny frontální nákusy, tahy II. třídy oboustranně na noc.

23.3.2015 Vyjmut kotevní šroub. Aktivace antispee v DČ, tahy II. třídy v rozsahu 13-46, 23-27 24hod/den.

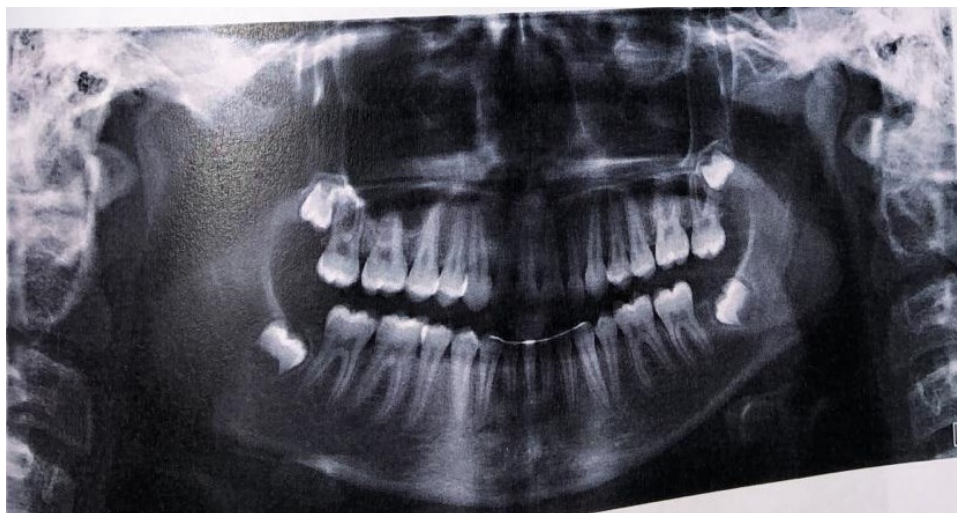
27.4.2015 Kontrolní OPG k ověření paralelity kořenů. Přelepen zámek na zubu 14, zpět NiTi .017x025“. DČ beze změn.

16.9.2015 Setting – cross tahy v rozsahu 23 vestibulárně, 33,34 lingválně na noc.

17.12.2015 Kontrola před sejmutím. Ponechány cross tahy na noc.

20.1.2016 Sejmutí horního a dolního fixního aparátu. Dokumentace. Retenční aparáty: monoblok, H essix v rozsahu 17,27 (zub 27 nemá zatím antagonistu, vyčkat erupce 38), dolní fixní retainer 33-43.

ZÁVĚR LÉČBY: zhotovení dRTG, zhotovení OPG



Kazuistika_2

VSTUPNÍ VYŠETŘENÍ – zhotovena fotografická dokumentace

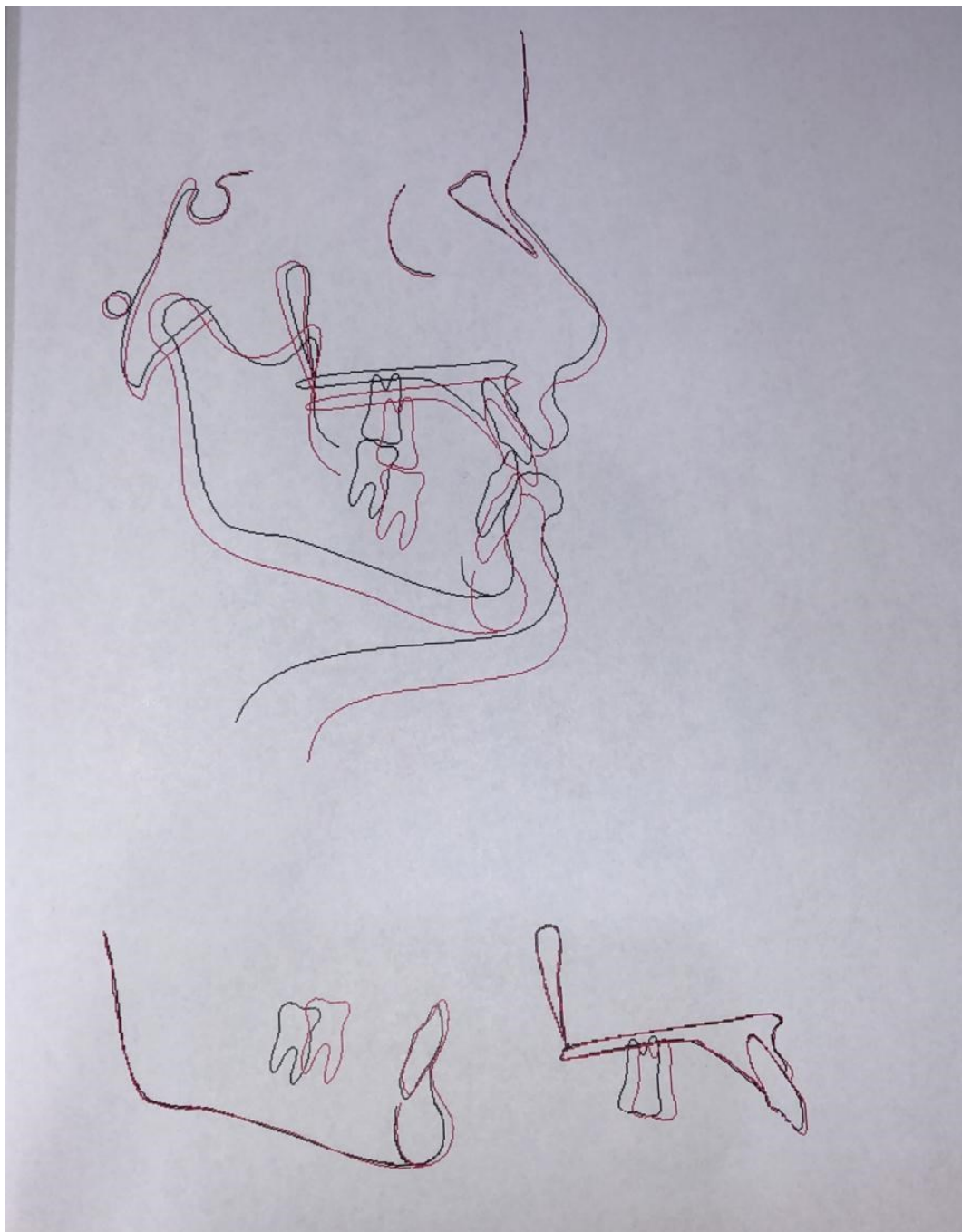


Tabulka: Analýza kefalometrických snímků

Měřený parametr	Před léčbou	Po léčbě
SNA (°)	84.9	84.2
SNA (°)	82.7	82.3
SNPog (°)	83.7	84.7
ANB (°)	2.2	1.9
Wits (mm)	-3	-2.6
NSML (°)	24.5	24.8
1: NS (°)	107.5	108.8
1: ML (°)	95.7	97.4
1: Npog (mm)	5.6	5.2
1: Apog (mm)	1.3	1.1
1:1 (°)	132.3	129
Sgo: NMe (%)	72.1	72.3

Překrytí kefalometrických snímků

- před léčbou
- po léčbě



Příloha C Tabulka subjektů použitých v práci

Tabulka subjektů použitých v práci rozčlenění dle kódu, době expozice, napětí, proudu, dávce a věku

KÓD	Doba expozice [ms]	Napětí [kv]	Proud [mA]	Dávka [mGycm ²]	Věk
F01	9204	73	15	22	22
F02	9203	73	15	22	32
F03	9202	73	15	22	23
F04	9203	73	15	22	57
F05	9204	73	15	22	13
F06	9204	73	15	22	23
F07	9203	73	15	22	13
F08	9203	73	15	22	16
F09	9204	73	15	22	29
F10	9202	73	15	22	27
F11	9204	77	14	23	13
F12	9204	73	15	22	14
F13	9203	73	15	22	20
F14	9202	73	15	22	13
F15	9203	73	15	22	26
F16	9204	73	15	22	35
F17	9204	73	15	22	13
F18	9204	73	15	22	24
F19	9203	73	15	22	16
F20	9203	73	15	22	33

F21	9204	73	15	22	12
F22	9204	73	15	22	17
F23	9203	77	14	23	28
F24	9203	73	15	22	37
F25	9203	73	15	22	26
F26	9204	72	15	22	26
F27	9204	73	15	22	15
F28	9203	73	15	22	23
F29	9203	73	15	22	18
M01	9203	73	15	22	13
M02	9203	77	14	23	19
M03	9203	84	13	25	44
M04	9203	73	15	22	12
M05	9204	77	14	23	26
M06	9204	73	15	22	16
M07	9204	77	14	23	39
M08	9203	73	15	22	14